

25 años de “Key Problems in Astronomy”

Secretos de un
encuentro único
contados por
una periodista
indiscreta



CARMEN DEL PUERTO Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3). Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

Los “maestros” del puente japonés

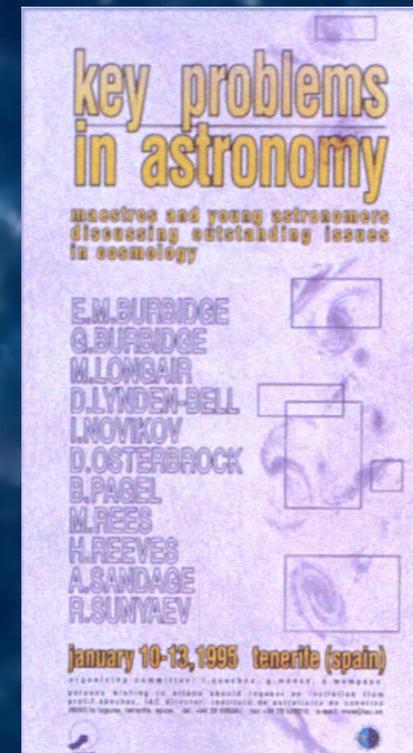


© IAC. Foto: M. Briganty

Hace 25 años, once de los grandes maestros de la Astrofísica del siglo XX trataron en Puerto de la Cruz (Tenerife) de predecir el futuro de la Cosmología en una reunión organizada por el IAC y la Fundación BBV con jóvenes investigadores españoles y de diferentes países del mundo.

Partiendo de lo que aún no conocíamos y tras cuatro días de reunión, identificaron los proyectos “clave” que, a su juicio, deberían emprender las próximas generaciones: los Key Problems in Astronomy.

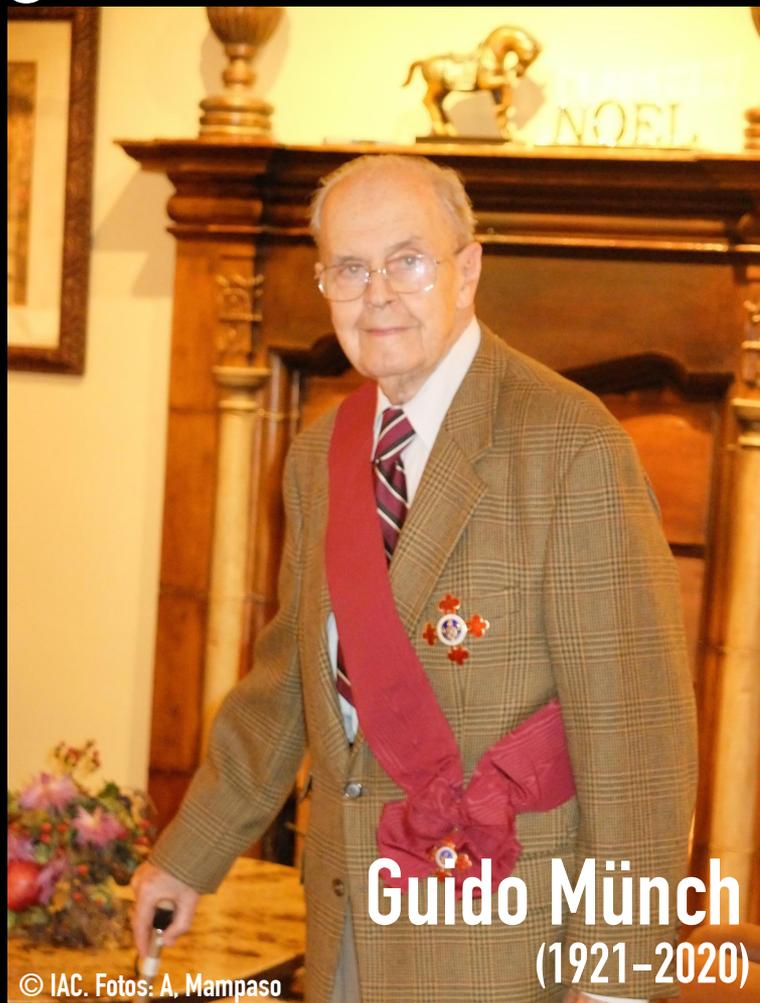
¿Acertaron en sus predicciones?



Fotograma de la simulación de la formación y evolución de un cúmulo de galaxias realizada por el IAC con el supercomputador "Teide-HPC", del ITER. Simulación: C. Dalla Vecchia (IAC).

Predecir el futuro de la Cosmología

Organizadores del Encuentro



Premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica y Técnica 1989



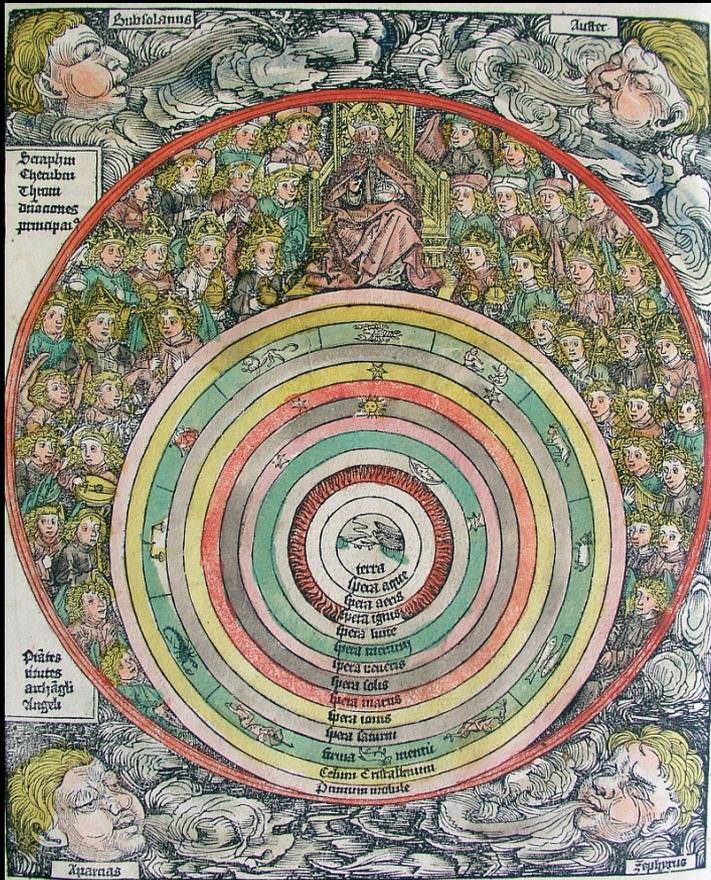
© IAC. Foto: M. Briganty



Encuentro “Key Problems in Astronomy”

Hotel Botánico. Puerto de la Cruz (Tenerife), 10–13 de enero de 1995

REVISIÓN DE PARADIGMAS



Visión medieval del Universo. Imagen de una xilografía de la Crónica de Nuremberg escaneada por Michel Wolgemut, Wilhelm Pleydenwurff.

Los avances de la Física normalmente tienen lugar paso a paso. Cada uno de ellos es el resultado de la **revisión continua de los paradigmas científicos preestablecidos**. De vez en cuando, sin embargo, se producen **avances revolucionarios** motivados por nuevas observaciones, experimentos o teorías, que obligan a **cambiar esos paradigmas, proporcionando perspectivas totalmente nuevas del mundo físico**. Estos grandes avances surgen con frecuencia del estudio de problemas aparentemente intrascendentes que, una vez comprendidos, proporcionan una nueva vía para el conocimiento del Universo. Desde luego, no podemos adivinar qué paradigmas astronómicos van a sustituir a los actuales, pero pensamos que sería muy útil revisar a fondo nuestra ciencia en busca de estos problemas clave, y eso es lo que pedimos a nuestros invitados.”

Guido Münch



© IAC. Foto: M. Briganty

Encuentro “Key Problems in Astronomy”

Hotel Botánico. Puerto de la Cruz (Tenerife), 10–13 de enero de 1995

CONFERENCIAS **Key Problems**

A.R. SANDAGE:

“Astronomical problems for the next three decades” (Problemas astronómicos para las próximas tres décadas)

G.R. BURBIDGE:

“Cosmological tests which may distinguish between the Classical Big Bang and Quasi-Steady State Model” (tests cosmológicos para distinguir entre el Big Bang clásico y el Modelo del Estado Quasi-Estacionario)

D. LYNDEN-BELL:

“Omega, dark matter and galactic history” (Omega, la materia oscura y la historia galáctica)

E.M. BURBIDGE:

“Observations of the spectra of QSO’s which are critical for Cosmology” (Observaciones de espectros de cuásares que son críticas en Cosmología)

D.E. ÖSTERBROCK:

“Nature, structure, refueling and evolution of Active Galactic Nuclei” (Naturaleza, estructura, fuente de energía y evolución de los Núcleos Activos de Galaxias)

M.S. LONGAIR:

“The high energy radiation of Active Galactic Nuclei” (La radiación de alta energía de los Núcleos Activos de Galaxias)

I.D. NÓVIKOV:

“Physics and Astrophysics of Black Holes” (Física y Astrofísica de los Agujeros Negros)

M.J. REES:

“The structure of the Universe and its origin” (La estructura del Universo y su origen)

B.E.J. PAGEL:

“Cosmic abundances” (Abundancias cósmicas)

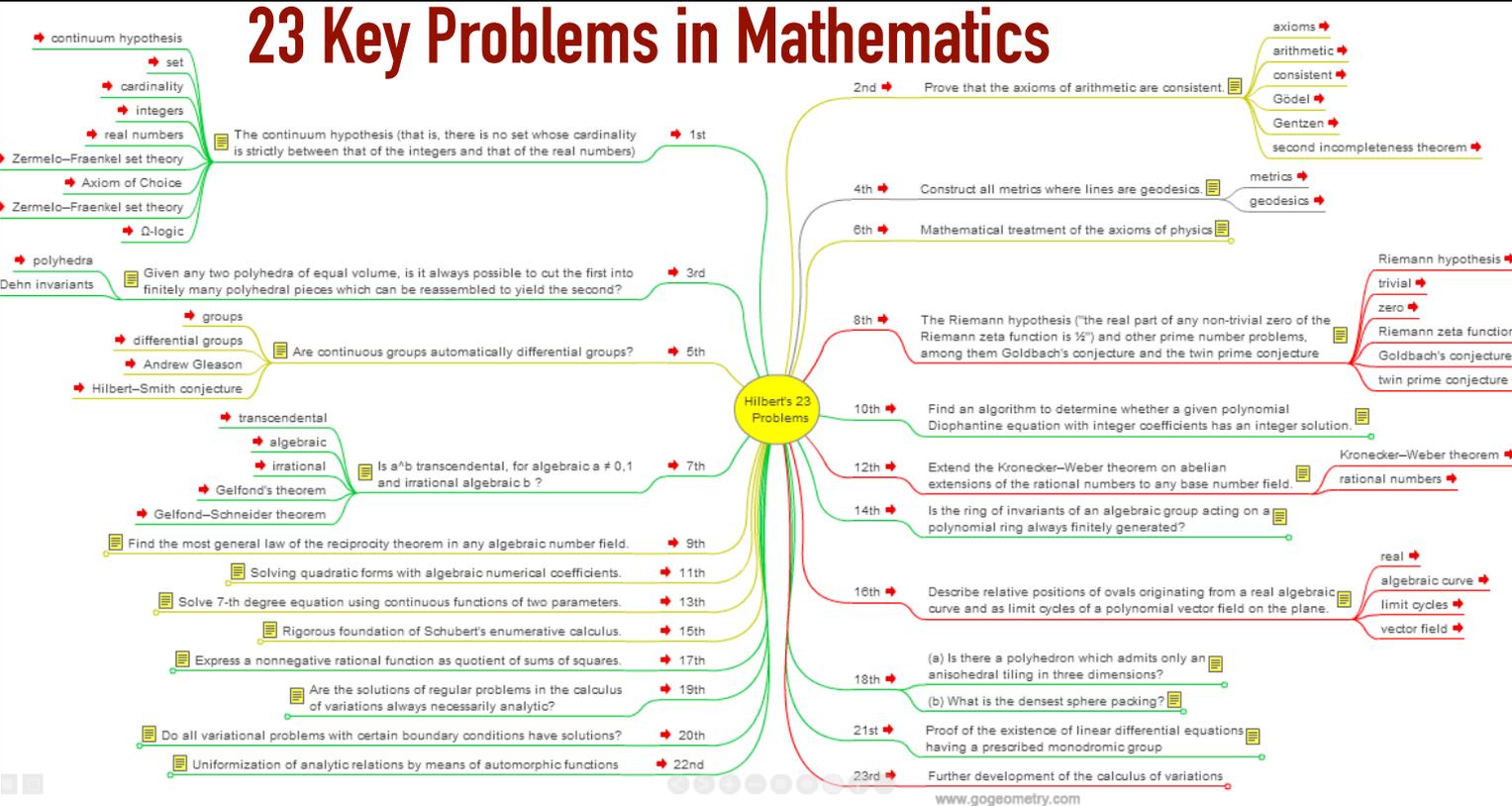
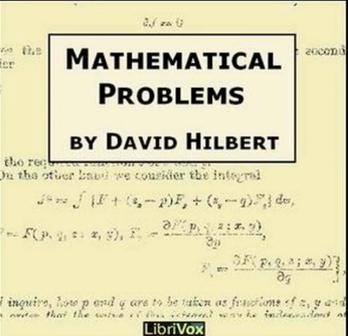
H. REEVES:

“Clues to the early development of Galaxies” (Claves para el desarrollo temprano de las Galaxias)

R.A. SUNYAEV:

“The observational appearances of accreting Black Holes in X-Ray Binaries” (Características observacionales de agujeros negros con acreción en binarias de rayos X)

Imitando a los matemáticos...

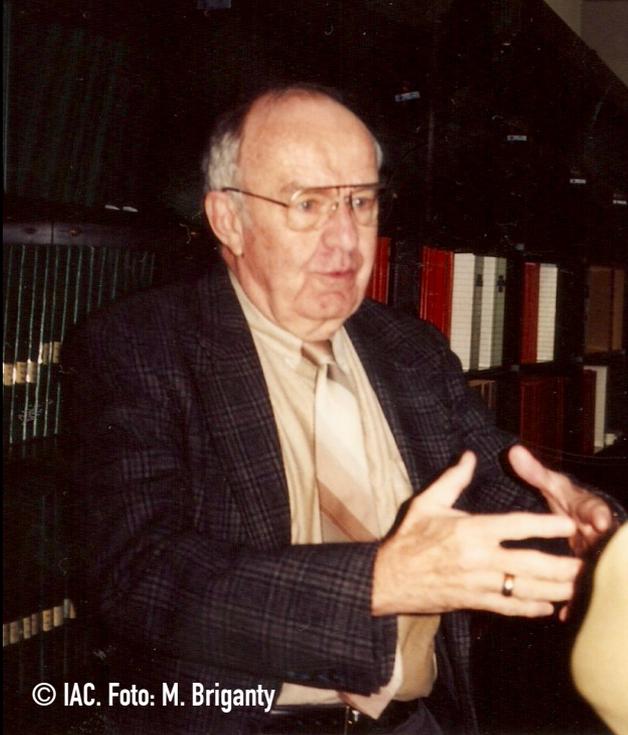


DAVID HILBERT

II Congreso Internacional de Matemáticas, París. 1900



23 Key Problems in ASTRONOMY



© IAC. Foto: M. Briganty

Sugeridos por
**ALLAN
SANDAGE**

Entender la Secuencia de Hubble (SH)

- 1.- ¿Es debida a la evolución o a las condiciones iniciales?
- 2.- Parámetros que varían y que no varían a lo largo de la SH
- 3.- Origen de la anchura de la SH
- 4.- ¿Es la estructura espiral completamente cinemática?
- 5.- ¿Es la tasa de formación estelar inicial el principal causante?
- 6.- Cosmogonía de la relación densidad-morfología
- 7.- Papel de los "mergers" (fusiones de galaxias)
- 8.- Origen y edad de los granos de polvo

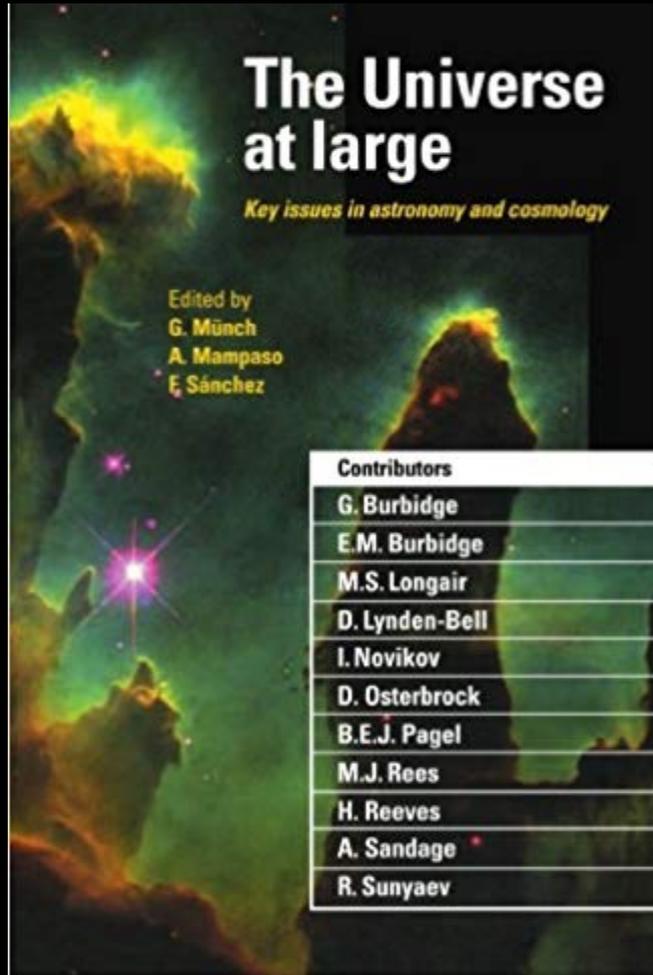
Evolución estelar y la Galaxia

- 9.- Edad, cinemática y abundancias químicas de todos los componentes galácticos.
- 10.- Cosmogonía de sus distribuciones.
- 11.- La secuencia de sucesos (aparición de la Galaxia temprana)
- 12.- Relación edad-metalicidad en diferentes posiciones galácticas
- 13.- La función de masa desde estrellas a rocas. ¿Hay rocas entre las estrellas?
- 14.- Conteos estelares: mapas del halo y disco grueso

El Universo. Cosmología práctica

- 15.- ¿Es real la expansión?
 - 15a.- El test de Tolman. Brillo superficial dependiente de $(1+z)^4$
 - 15b.- Retraso temporal con supernovas $t(z) = t(0) (1+z)$
 - 15c.- Temperatura del fondo de microondas $T(z) = T(0)(1+z)$
- 16.- Evolución en tiempos pasados (galaxias primigenias)
- 17.- La escala de distancias
 - 17a.- Calibración de todos los indicadores
 - 17b.- Problemas de sesgo de todos los indicadores
 - 17c.- ¿Por qué algunos métodos son erróneos?
- 18.- $q(0)$
- 19.- Explicar el exceso en conteos $N(m)$
- 20.- Naturaleza de la materia oscura: Omega
- 21.- ¿Hay desviaciones significativas de velocidad, aparte de la pura expansión cosmológica?
- 22.- El medio intergaláctico (¿gas, polvo y rocas entre las galaxias?)
- 23.- Tiempo de formación de la estructura a gran escala

Publicaciones del Encuentro



Libro editado por Cambridge University Press

IAC
noticias

KEY PROBLEMS IN ASTRONOMY
("Problemas clave en Astronomía")
Puerto de la Cruz (Tenerife)
10-13 / 1 / 1995

Organizado por el IAC y la Fundación BBV
Organized by the IAC and the Fundación BBV

**ESPECIAL/
SPECIAL ISSUE
1995**

Allan R. Sandage
Geoffrey Burbidge
Donald Lynden-Bell
E. Margaret Burbidge
Donald E. Osterbrock
Malcolm S. Longair
Igor D. Novikov
Martin J. Rees
Bernard E.J. Pagel
Hubert Reeves
Rashid A. Sunyaev

La Astrofísica del siglo XXI
Astrophysics in the 21st Century

Once de los grandes maestros de la Astrofísica de nuestros días trataron en Tenerife de predecir el futuro de la Cosmología. Partiendo de lo que aún no conocemos y tras cuatro días de reunión, identificaron los proyectos clave que, a su juicio, deberían emprender las próximas generaciones. En esta edición especial de IAC Noticias, nos confiesan además cuál de esos proyectos de investigación elegirían para sí mismos, si tuvieran que iniciar de nuevo su carrera o su tesis en Astrofísica.

Eleven of the greatest maestros in Astrophysics of our time attempted to predict the future of Cosmology during a meeting held in Tenerife. Starting from what is still unknown to us, after four days at work they succeeded in identifying key projects which, in their view, should be tackled by future generations. In this special issue of the IAC Noticias they even confess which of these research projects they would choose to pursue themselves, were they about to start their career or Ph.D. in Astrophysics.

Especial Revista "IAC Noticias" (entrevistas, a continuación)

ENTREVISTAS: preguntas comunes a los 11 “maestros”

1. Si fuera a comenzar ahora su tesis doctoral o su carrera como astrónomo/a, ¿cuál de los problemas clave de los que se debaten aquí decidiría estudiar?
ver Respuesta 1

2. Los astrónomos realmente necesitan utilizar telescopios grandes, como la nueva generación de instrumentos de 8 m o mayores.

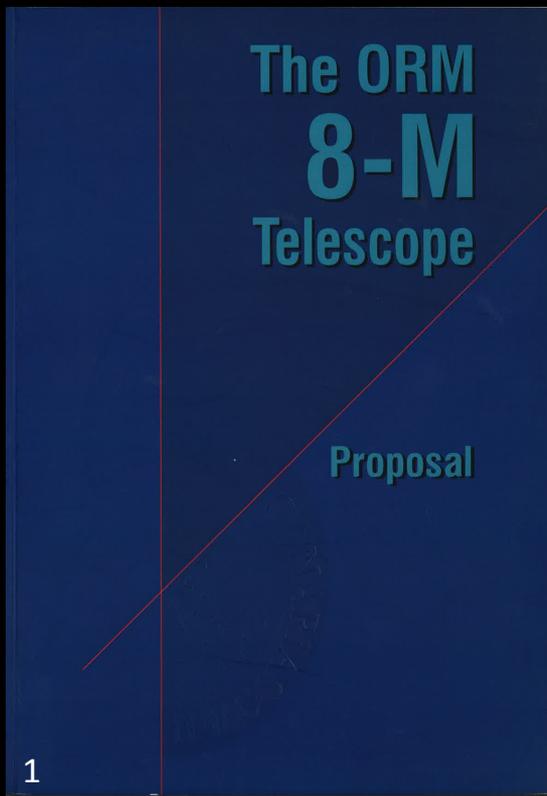
- ¿Qué opina de la iniciativa del IAC para la construcción de un gran telescopio en el Observatorio del Roque de los Muchachos?
- ¿Cómo y en qué medida pueden estos instrumentos contribuir a mayores avances en la Astrofísica?

ver Respuesta 2

ver Anécdotas tras las respuestas

Contexto de la 2ª pregunta:

Apoyo a la construcción de un gran telescopio en La Palma



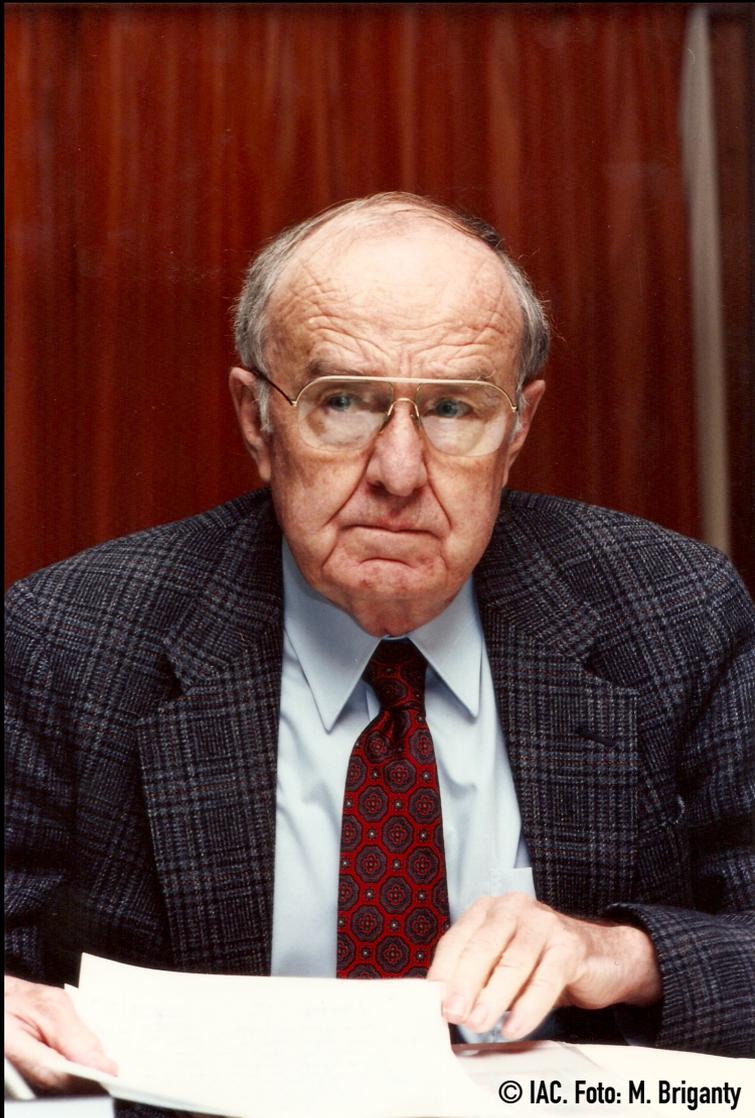
1. Propuesta de construcción de un telescopio de la clase de 8 m para el Observatorio del Roque de los Muchachos.
2. Finalmente se construiría el Gran Telescopio Canarias (GTC), un telescopio segmentado óptico-infrarrojo, de 10,4 m.
3. Este telescopio ilustraba el primer cartel de la SEA 2020 (cuando la reunión iba a ser presencial, antes de la COVID-19).

¿Futuro gran telescopio en La Palma?



Imagen artística del Telescopio de Treinta Metros (TMT). © Equipo TMT

Hoy, les habríamos preguntado por el potencial del TMT para la Astronomía española si finalmente este telescopio se instalase en La Palma.

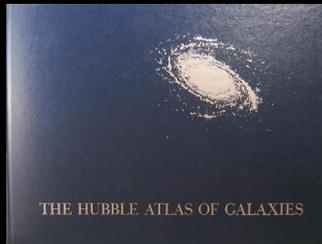


© IAC. Foto: M. Briganty

Allan R. Sandage

(1926–2010)

- Nació en Iowa (EEUU).
- Licenciado en Física por la Univ. de Illinois.
- Doctorado en Astronomía por el Inst. de Tecnología de California.
- Estudiante de Walter Baade y ayudante de Edwin Hubble,
- Investigación:
 - **Cosmología observacional.**
 - Método práctico para determinar **la edad de los sistemas estelares**, según el cual la edad de las estrellas en cúmulos globulares era de al menos 10.000 millones de años.
 - Derivación de la escala de distancias en el Universo.
 - Primera buena estimación de la **constante de Hubble.**
- Publicación de tres Atlas de Galaxias.
- Su esposa: la astrónoma **Mary Connelley**, quien también estuvo en Tenerife.



Observatorios Carnegie en Pasadena (California).

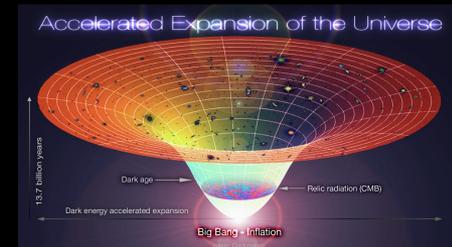
El Universo en expansión

“Encontrar **pruebas directas** de que el Universo está realmente en expansión. En un corto intervalo de tiempo no apreciamos los cambios en las distancias a las galaxias a medida que éstas se alejan, porque es algo demasiado a largo plazo como para apreciarlo en unos pocos años. Pero hay **tres formas de comprobar la realidad de la expansión, y la más convincente sería la siguiente:**

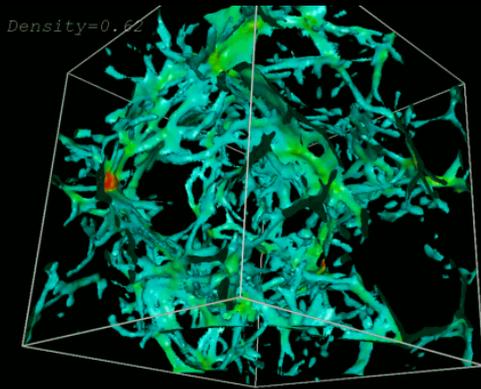
Si las galaxias se alejan en realidad de nosotros, y consideramos dos galaxias idénticas, una de ellas estacionaria y la otra en movimiento, el brillo superficial de la que se mueve (si el desplazamiento al rojo, “ z ”, realmente indica movimiento) entonces disminuye en un factor $(1+z)^4$ (y 4 es un exponente enorme). Así que yo iniciaría este programa observacional, que podría hacerse ahora mismo. No hay nada que impida la realización del experimento; pero es algo complicado porque las galaxias no son como “hojas de papel planas”, sin gradientes de intensidad a través de ellas. Haría el experimento de comprobar la reducción en el brillo superficial proporcional a $(1+z)^4$. Los estudiantes del IAC pueden intentarlo actualmente con los telescopios que tienen en este maravilloso emplazamiento con el que cuentan. Éste sería un proyecto en el que los científicos del IAC podrían empezar a trabajar ya, **el Test de Tolman de la reducción del brillo superficial en el factor $(1+z)^4$** . Si no hubiera expansión, y z se debiera a algún fenómeno desconocido, con nuevas leyes físicas, entonces la reducción sería solo en un factor de $(1+z)$. Pero la diferencia entre la primera y la cuarta potencia es enorme, incluso a desplazamientos de $z=0,4$, y actualmente esto puede medirse perfectamente. Éste sería mi tema de trabajo si fuera a empezar ahora mi doctorado; de hecho, me gustaría empezar ahora mismo.”



Premio Nobel de Física 2011 por el descubrimiento de la **expansión acelerada del Universo mediante observaciones de supernovas lejanas**. Contribuyeron telescopios de La Palma: INT y WHT.



Un flujo de fotones adecuado

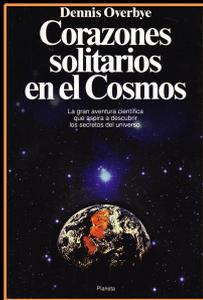


Una simulación por computadora de una posible configuración del bosque Lyman-alfa en $z = 3$.
© J. Shalf, Y. Zhang (UIUC) et al., GCCC.

“En los últimos años se ha descubierto que, a medida que observamos objetos más débiles, retrocedemos tanto en el tiempo, hacia el Universo temprano, que podemos comprobar, ver realmente, la evolución del Universo en una época más temprana. En mi generación adivinábamos en cierto modo que se había producido esa evolución, pero, yendo a desplazamientos al rojo se puede ver en realidad esa diferencia. Fíjese, por ejemplo, en los grandes avances realizados en los últimos dos o tres años con el telescopio Keck, que tiene cuatro veces más capacidad de recolectar luz que un telescopio de 5 m. Todos y cada uno de los problemas que antes no podían estudiarse por falta de fotones han sido abordados en Hawái con este telescopio. Todo lo que hace falta es un flujo de fotones adecuado.

Algunos de esos problemas es que **se necesitan espectros de alta resolución del 'bosque Lyman-alfa'**. ¿Qué es el 'bosque Lyman-alfa'? Se trata de un gran misterio. Las nubes de hidrógeno Lyman-alfa ¿son galaxias primigenias? Es algo que no se sospechaba, materia no diferenciada. Estamos empezando a trabajar en este tema. Con un telescopio de 4 m no se obtiene la luz suficiente para conseguir la resolución espectral necesaria para resolver muchos problemas. Así que el telescopio de 8 m [de Canarias] abrirá muchas puertas al estudio del Universo temprano.”

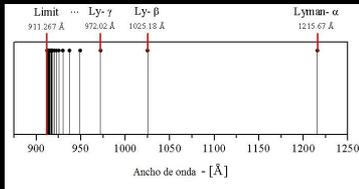
El estudio del bosque Lyman-alfa es uno de los métodos más potentes que se usan hoy en día en estructura a gran escala. En los surveys de SDSS se han obtenido resultados cosmológicos con este método.



Examen para periodistas

Sandage no concedía entrevistas tras malas experiencias con los periodistas. Además, no se vio bien retratado por D. Overbye en su libro. Accedió a conceder sólo dos entrevistas, pero las “afortunadas” periodistas tuvimos que pasar un examen previo: responder a una pregunta que nos formuló distinta a cada una.

PREGUNTA A PERIODISTA 1: ¿Qué es la línea Lyman- α ?



Ly- α : una línea espectral de hidrógeno

emitida cuando el electrón cae del orbital $n = 2$ al orbital $n = 1$, donde n es el número cuántico principal.



Periodista 1 respondiendo a la pregunta de A. Sandage, en presencia de F. Sánchez y A. Mampaso.

PREGUNTA A PERIODISTA 2: ¿Quién escribió “Drácula”?



¡Bram Stoker!

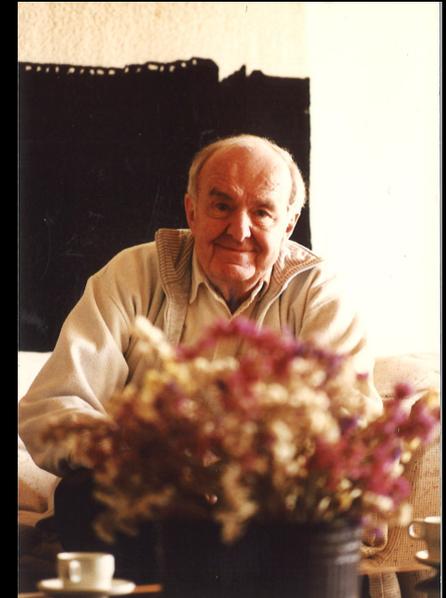
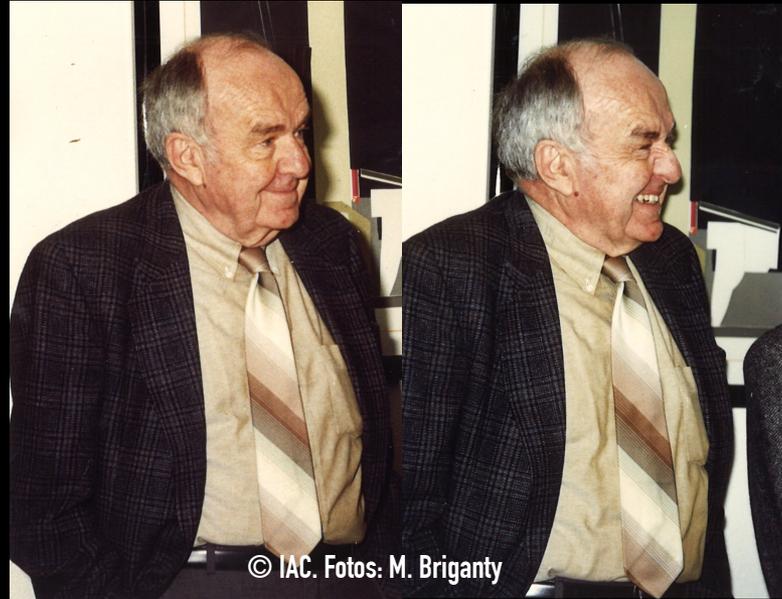


Periodista 2 (C. del Puerto) entrevistando a A. Sandage.

Le gustaban las zarzuelas españolas



ENTREVISTA

ALLAN SANDAGE: “La materia oscura podría estar constituida por rocas”

“La constante de Hubble es una cuestión que ya puede considerarse resuelta. Su valor está en torno a los **50**.”

“El Universo es algo muy complejo y la estructura del cerebro humano, insignificante. Eso significa que nunca podremos comprender todo, porque no somos una especie lo suficientemente evolucionada.”

Hubert Reeves

(1932)

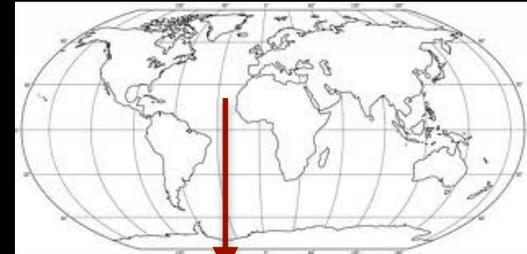
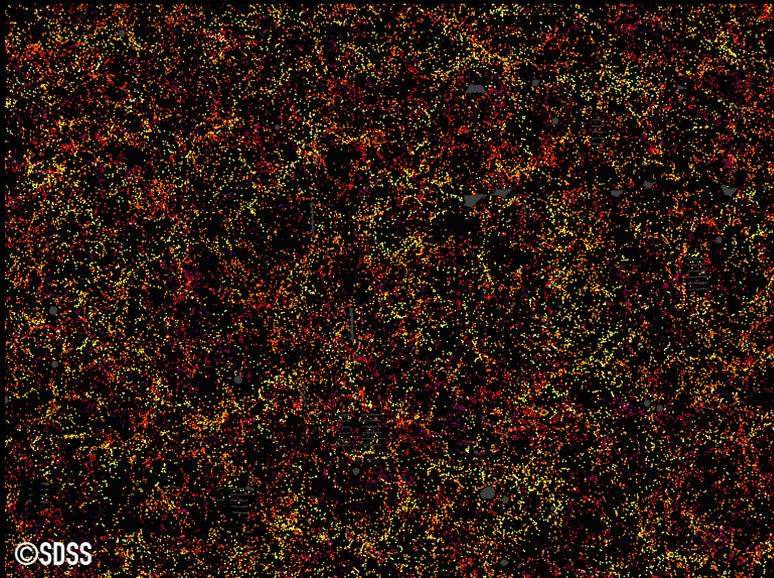
- Nació en Montreal (Canadá).
- Estudiante de Edwin Salpeter en Univ. Cornell (EEUU).
- Catedrático de la Univ. Montreal.
- Director de Investigaciones del Centro de Estudios Nucleares (CEN), de Saclay (París, Francia).
- Investigación:
 - **Cosmología**
 - **Astrofísica Nuclear**
 - **Origen de los Elementos Químicos**
 - **Origen del Sistema Solar**
- Imparte conferencias sobre Historia del Universo y sobre Ecología.
- Autor de libros científicos y de divulgación.
- Series de divulgación en TV francesa.
- Presidente Honorario de la Asociación Humanidad y Biodiversidad .

© IAC. Foto: M. Briganty

Centro de Estudios Nucleares (CEN), de Saclay (París, Francia).

La geografía del Universo

“Una de las áreas de investigación más interesantes actualmente en Cosmología es el estudio de la **estructura del Universo a gran escala**. Vivimos en un universo inmenso y debemos, en primer lugar, trazar su geografía, igual que cuando comenzó a hacerse con la Tierra. La geografía que conocemos del Universo, es decir, **la distribución de las galaxias y demás**, es muy limitada. Es como si estudiásemos la geografía terrestre conociendo sólo las Islas Canarias y nada del resto del planeta. Por tanto, debemos conocer mejor la configuración de nuestro universo. En este programa de lleva investigando ya muchos años, pero aún queda mucho trabajo por hacer. La interpretación de esta geografía del Universo es una de las áreas que más información nos proporciona acerca de su estructura, su historia pasada, etc. Este sería para mí un campo de estudio muy importante.”



Porción del cartografiado de la estructura a gran escala del Universo del Sloan Digital Sky Survey (SDSS) y el programa Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS), en 2016.

La radiación gamma

Inicio > Divulgación > Noticias > El telescopio LST-1 en La Palma detecta el Púlsar del Cangrejo a muy alta energía

El telescopio LST-1 en La Palma detecta el Púlsar del Cangrejo a muy alta energía

+ f t



El telescopio cherenkov LST-1 de la red CTA Norte en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma).
Crédito: Iván Jiménez (IAC)

FECHA DE PUBLICACIÓN: 22/06/2020

AUTORES:  COMUNICACIÓN Y CULTURA CIENTÍFICA

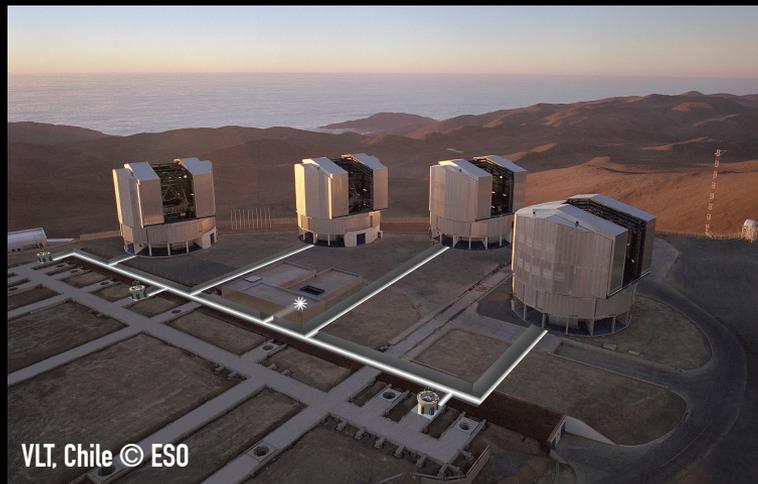
SEDE: Observatorio del Roque de los Muchachos

El primer prototipo de Telescopio de Gran Tamaño (LST) de la Red de Telescopios Cherenkov (CTA), el LST-1, ubicado en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma), ha detectado una emisión de rayos gamma de muy alta energía procedente del Pulsar del Cangrejo, una estrella de neutrones situada en el centro de la nebulosa del mismo nombre. Esta observación certifica el buen funcionamiento de este telescopio, que actualmente se encuentra en fase de *commissioning* o puesta a punto.

“Otro importante campo de investigación sería el estudio de **las líneas en rayos gamma**. Actualmente tenemos detectores capaces de medir esta radiación procedente de las estrellas. Y sabemos que la Astronomía de Rayos Gamma es, en cierto sentido, similar a la Astronomía habitual de líneas atómicas. Pero es un nuevo campo del que se puede aprender mucho. El trabajo en esta área ya se ha iniciado y se sigue avanzando, pues de las líneas de emisión de rayos gamma se puede obtener gran cantidad de información. Así que éstos son dos temas en los que yo trabajaría si fuese un astrónomo joven.”

Galaxias más lejanas

“Hay **proyectos similares en otros países**: uno en Sudamérica, en Chile; otro en Hawái, el Gemini. Creo que es de suma importancia construir otro aquí, porque los telescopios son muy necesarios, necesidad que está en relación, por ejemplo, con la idea del estudio de **la estructura del Universo**. Es una forma de estudiar **galaxias cada vez más lejanas**. De modo que animo fuertemente a la construcción de un telescopio de esta clase en las Islas Canarias, porque es una forma de asegurar un **futuro fructífero para los jóvenes astrónomos**. Creo que el proyecto merece la pena.”



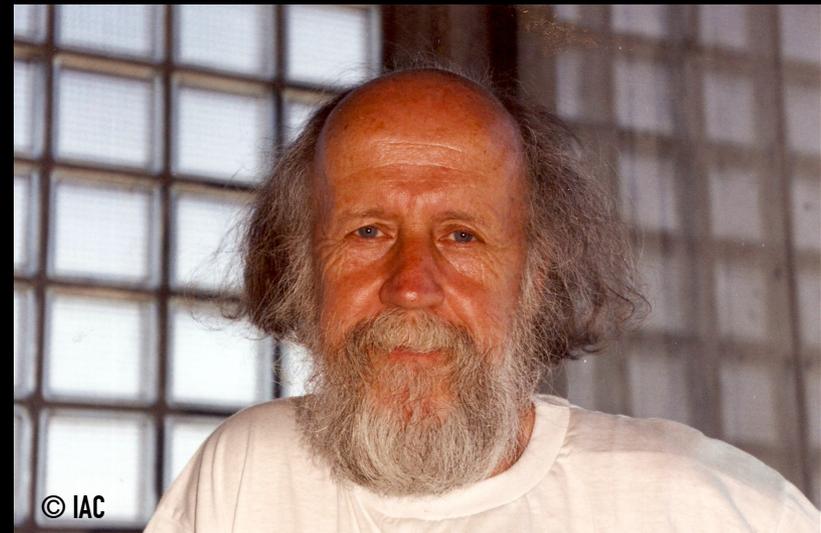
Complicidad

Entrevistas previas. Participante en el congreso “New Windows to the Universe” en 1991.

Conversación sobre mi tesis doctoral y, como parte de ella, la creación del término “**COSMOSOMAS**” (acrónimo irregular de COSMOlogical Structures On Medium Angular Scales) acuñado por mí en 1994, en referencia a las anisotropías del CMB detectadas por el Experimento de Tenerife.

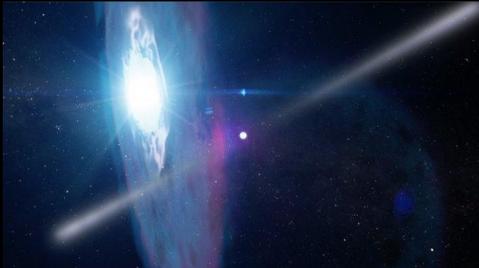
Le gustó y en su charla “Clues to the early development of Galaxies”, en el marco de la reunión, la usó, pero lo pronunció como si fuere un término en inglés, “**COSMOSOMES**”, y así quedó recogido en los vídeos, aunque en su transparencia apareció escrito “**COSMOZONES**”. ¿Fue un equívoco o acuñó un término nuevo en competencia con el mío?

Títulos periodísticos y literarios de sus libros



“En realidad, cuando empiezas a hacer algo, nunca sabes con qué te vas a encontrar, y si lo supieras, quizá harías otra cosa. El hecho de que estemos abriendo una nueva ventana implica que debemos estar dispuestos a encontrar algo completamente nuevo y, quizá, incluso **un nuevo paradigma**. Nunca se sabe.”

Serendipia en Astronomía

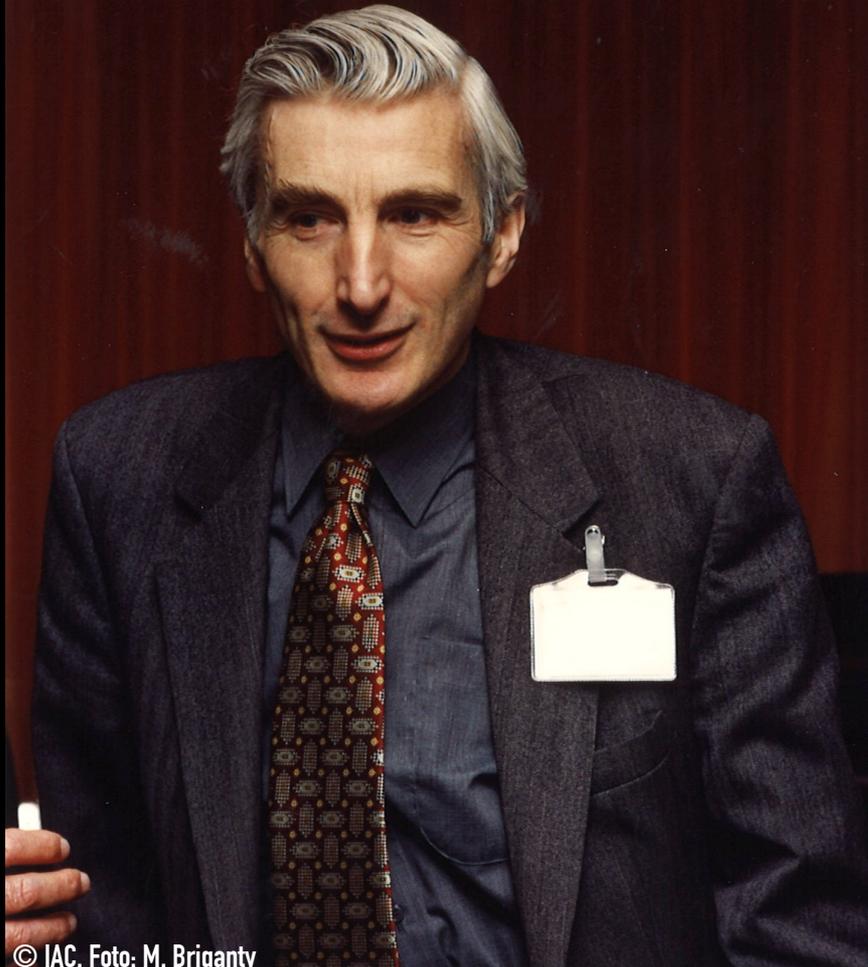


El pulsar PSR J2032+4127 en su momento de máximo acercamiento a la estrella MT91 213, una estrella azul con un disco de materia a su alrededor. © NASA's Goddard Space Flight Center.

“Antes se entendía por serendipia el arte de utilizar las condiciones adversas y transformarlas en condiciones favorables; era lo que se llamaba las tres fronteras de la serendipia. En Ciencia, el significado que se le da es el de la suerte, el azar. Consiste en observar el cielo en una región determinada y ver si hay algo interesante. A veces observamos un objeto seleccionado y, durante la observación, advertimos que en nuestro campo de visión está sucediendo algo que no esperábamos. Esto es lo que llamamos descubrimientos por serendipia, es decir, por el azar, de forma imprevista. Circula una historia relacionada con este asunto sobre un astrónomo que observa con su telescopio siguiendo un programa de observación de determinadas estrellas y, de repente, observa **una supernova que explota en su campo de visión**. La historia consiste en decir que hay **dos tipos de astrónomos**: el primero de ellos se alegraría de su suerte; el segundo cerraría el telescopio diciendo que es una mala noche para observar sus estrellas. Éste sería el significado actual de serendipia. No se trata de convertir lo adverso en ventajoso, es simplemente una cuestión de suerte. En ocasiones tenemos una larga lista de objetos que estudiar y, al observarlos, nos damos cuenta de que uno de ellos presenta una característica que no estaba prevista y lo que hacemos es estudiarlo más detalladamente.”

Martin J. Rees

(1942)



© IAC. Foto: M. Briganty

- Nació en York (Reino Unido).
- Licenciado en Matemáticas por la Univ. de Cambridge (UC).
- Doctor en Astrofísica por la UC, en la época en que se descubrieron los cuásares y la radiación del fondo cósmico de microondas.
- Catedrático de la Univ. de Sussex.
- Plumian Professor of Astronomy de la UC.
- Director del Instituto de Astronomía de la UC.
- Profesor de Investigación de la Real Sociedad en la UC.
- Presidente de la Real Sociedad de Londres.
- Investigación:
 - Su teoría: **una fluctuación de densidad primordial dio lugar, primeramente, a pequeñas galaxias que después se organizaron en cúmulos y supercúmulos**, y no al revés, como defiende la teoría contraria.
 - Postuló, con Donald Lynden-Bell, **la posible existencia de agujeros negros supergigantes en el centro de las galaxias, alimentados por cuásares.**

Instituto de Astronomía de la Univ. de Cambridge (Reino Unido).

El Universo muy temprano

“Cómo se establecieron las condiciones que permitieron al Universo alcanzar un tamaño tan grande y, pese a ello, desarrollar las estructuras que observamos y estar gobernado por leyes que permitieron la aparición de tanta complejidad.”

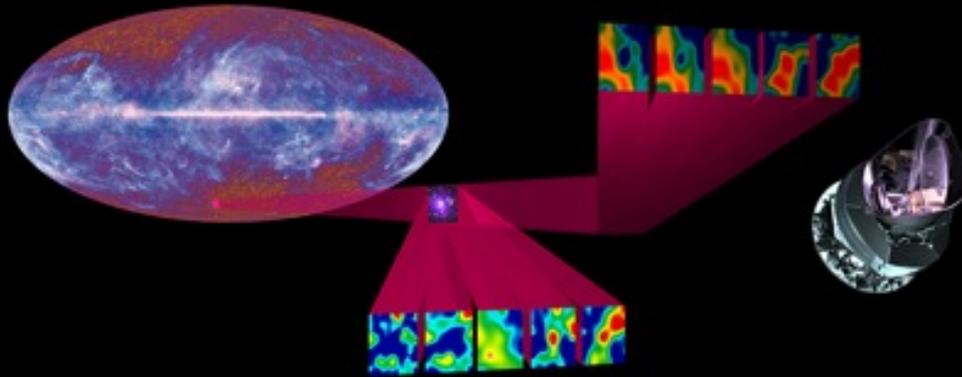
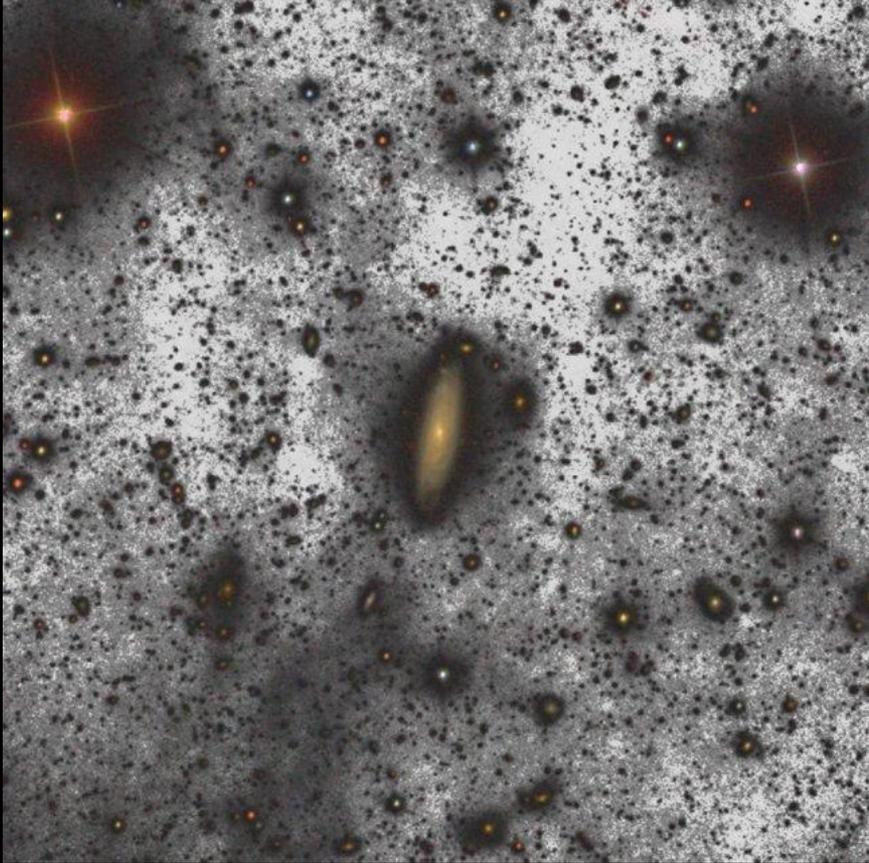


Ilustración que explica el efecto Sunyaev-Zel'dovich, a través del cual los cúmulos de galaxias imprimen una firma distintiva en el CMB. © ESA/Planck Collaboration

“El tema del Universo muy temprano era, hasta hace poco, puramente teórico. Lo más apasionante de los últimos años es que las observaciones permiten estudiarlo de forma directa porque las estructuras que vemos a nuestro alrededor –**los cúmulos y los supercúmulos**– se originaron en las fases iniciales. Cuando miramos **la radiación del fondo cósmico** en el cielo (y esto ha sido observado desde Tenerife), apreciamos **fluctuaciones** que han quedado impresas por los precursores de estos cúmulos. Actualmente, el estudio del Universo muy temprano es, por tanto, **no sólo teórico**, sino **también observacional**. Este es uno de mis temas favoritos.”

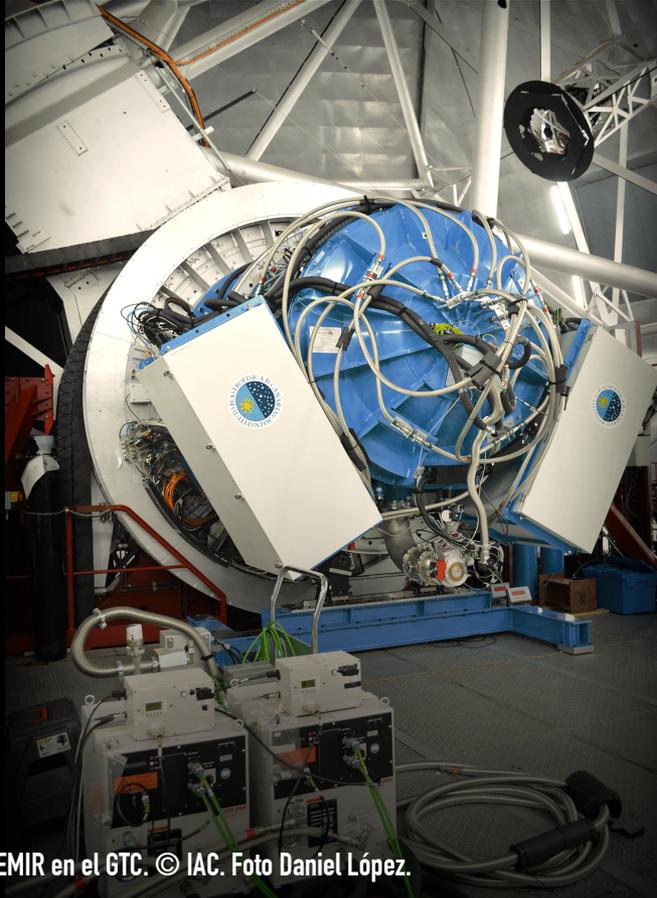
Las primeras galaxias



La imagen más profunda de una galaxia obtenida con OSIRIS en el GTC por I. Trujillo y J. Fliri, Tenue halo de unas cuatro mil millones de estrellas alrededor de la galaxia UGC00180. © GTC/G. Pérez (IAC).

“Cómo se desarrollaron estos objetos [del Universo temprano] en el Universo tardío . . . El estudio de las **fases iniciales de la formación de las galaxias**, conocer en qué momento de la historia cósmica tuvo lugar su formación y cuándo, posteriormente, los centros de las primeras galaxias se transforman en **cuásares**. Esto es algo que sucedió, creemos, cuando el Universo tenía aproximadamente una décima parte de su edad actual, es decir, unos mil millones de años. Es en esta fase cuando, pensamos, se formaron las primeras galaxias, y el gas y el polvo dieron lugar a las primeras estrellas. Sería de enorme interés para mí conocer este proceso a través de **simulaciones por ordenador** muy detalladas y, también, haciendo **observaciones de los objetos más distantes** que podemos ver.”

Necesidad de una nueva generación

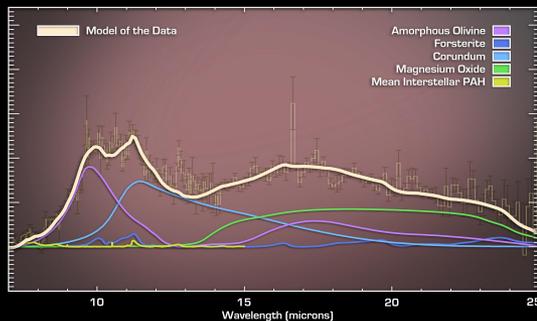


EMIR en el GTC. © IAC. Foto Daniel López.

“Los telescopios de la clase de 4 m existen desde hace 10, 20 ó 30 años, período en el cual su eficiencia ha ido en aumento por la introducción de detectores más sensibles, que han sustituido a las placas fotográficas. La utilización de fibras ópticas permite realizar numerosas observaciones simultáneamente. Ahora que estos telescopios han alcanzado el 80% de su eficiencia, no queda ya mucho margen para otras mejoras, sólo pasar del 80 al 100%. Por lo tanto, es obvio que la siguiente generación de observaciones requiere una nueva generación de telescopios mayores, y este es el motivo por el cual en el futuro dependeremos mucho de estos nuevos telescopios de la clase de 8 m. **Necesitamos estos telescopios para captar más luz de objetos más débiles y poder así obtener espectros de objetos a mayores distancias.**”

Espectros detallados

El problema que más me interesa estudiar con estos telescopios consiste en buscar galaxias que se encuentran justamente en proceso de formación; buscar **en los espectros de los cuásares líneas de absorción**, debida a la presencia de gas entre el cuásar y nosotros. Este gas es importante, porque a partir de este material se formarán las galaxias. Si miramos un cuásar muy distante, la luz que recibimos comenzó su viaje cuando la edad del Universo era una décima parte de su edad actual, por lo que vemos, a lo largo de las líneas de visión, **la historia de la formación de las galaxias**. Estudiando la absorción de esta luz por el gas a diferentes desplazamientos al rojo vemos realmente toda la historia de la formación de galaxias.



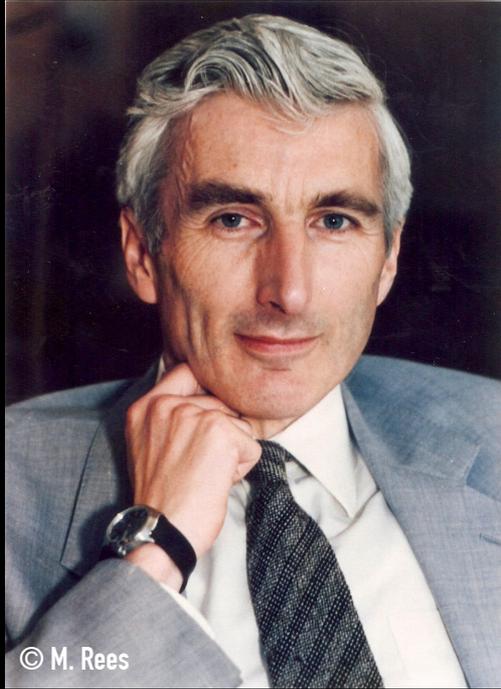
© NASA/JPL-Caltech/University of Manchester

Y todo ello depende de poder contar con instrumentos lo suficientemente sensibles, con superficies de captación de luz en los telescopios lo suficientemente grandes como para poder tomar espectros muy detallados, tanto que podamos detectar todos esos cientos y cientos de nubes a lo largo de cada línea de visión. Creo que, observando cuásares distantes con estos nuevos telescopios no sólo podremos comprender mejor la propia naturaleza de los cuásares, sino que obtendremos una nueva y valiosa información de lo que sucede a lo largo de la línea de visión y, por tanto, lo que sucede al gas en la época en que pasa de ser materia difusa a estar incorporado a las galaxias.”

ENTREVISTA

Sir MARTIN REES: “La paradoja del Universo: alejarse en la distancia, retroceder en el tiempo”

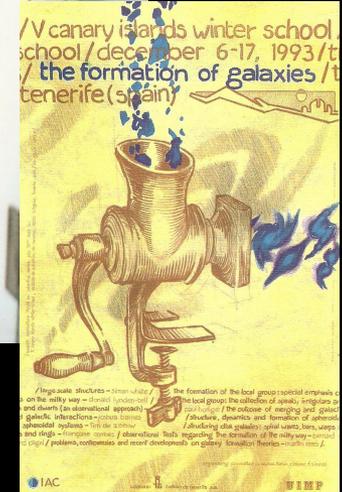
Profesor de la V Canary Islands Winter School del IAC sobre “La formación de las galaxias”, 1993.



© M. Rees



© IAC



El término “COSMOSOMAS”. “Es una palabra muy buena, porque no hay otra palabra para describir estas enormes estructuras embrionarias; así que está bien tener una nueva palabra para ellas”. Y añadió que intentaría usarla.

Bernard E. J. Pagel

(1930–2007)



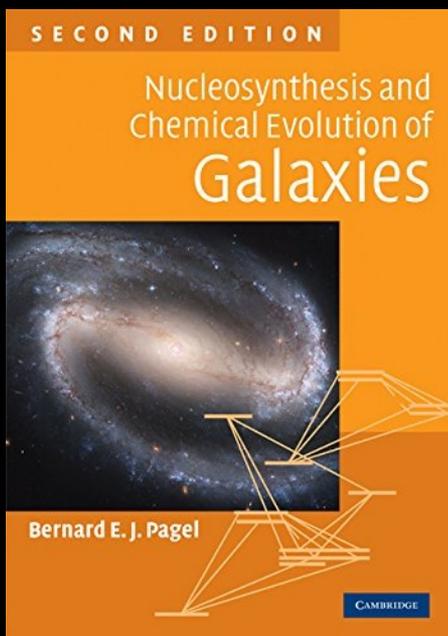
© IAC. Foto: M. Briganty

- Nació en Berlín (Alemania). Emigró al Reino Unido.
- Licenciado en Física por la Univ. de Cambridge (UC).
- Doctorado en Astronomía por la UC.
- Director científico adjunto del Royal Greenwich Observatory (RGO).
- Formó parte del Comité británico para las Prioridades Científicas en Astronomía en el período 1900–2000.
- Investigación:
 - Comparación de las teorías sobre las atmósferas solar y estelar con las observaciones espectroscópicas.
 - Interpretación de las abundancias cósmicas y su relación con las teorías de la nucleosíntesis.
 - Cosmología y evolución química de las galaxias.
 - Estudio de las líneas de emisión de regiones HII y núcleos levemente activos de galaxias cercanas: He, N, O en el medio interestelar y sus gradientes a gran escala en diferentes tipos de galaxias con telescopios de Canarias.
- Autor del manual “Nucleosíntesis y evolución química de las galaxias”.

Instituto Nórdico de Física Teórica (NORDITA), Copenhague (Dinamarca).

La composición química

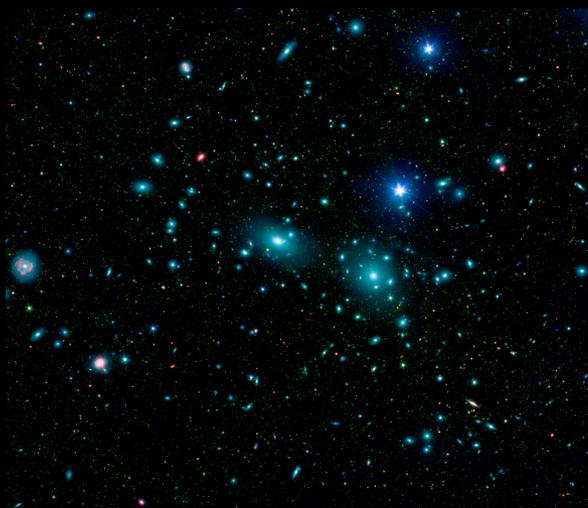
“La investigación de esas **nubes intergalácticas que causan líneas de absorción delante de los cuásares y galaxias del fondo**. Podemos avanzar partiendo de las galaxias cercanas, en las que hay gas que puede detectarse a través de sus líneas de absorción, para seguir a valores de z cada vez mayores, hasta alcanzar el cuásar más lejano que sea bastante brillante como para poder observarlo con la suficiente resolución espectral. ¡Hay tantas cosas que se podrían estudiar de ello! **La relación entre las nubes** que, previsiblemente, se fundirán más tarde para dar lugar a galaxias, **su dinámica, su temperatura** y, lo que es especialmente interesante para mí, **su composición química**.”



Actualmente se están realizando dos estudios en particular:

1. **La búsqueda de deuterio**, un elemento muy interesante desde el punto de vista de la nucleosíntesis primordial del Big Bang si se detecta a altos valores de z . El resultado es un valor cercano a la abundancia del deuterio primordial, mientras que a nivel local, en la Tierra y en el Sistema Solar, el deuterio es probablemente algo menos abundante de lo que era al principio, porque se destruye como consecuencia del reciclado del gas interestelar a través de las estrellas, para volver luego al medio interestelar.
2. **La abundancia de elementos sintetizados en las estrellas, como el hierro, el sodio y, especialmente, el zinc**, que tiene la ventaja de que todo el que existe está presente en el gas, mientras que algunos de los otros metales están condensados en granos de polvo sin que pueda medirse su abundancia total. Podemos relacionar la abundancia de zinc (a su vez relacionable con la de los otros metales) con z y con otras propiedades de las diferentes nubes.”

Objetos más débiles



Cúmulo de Coma. © NASA/JPL-Caltech/L. Jenkins (GSFC)

“Las ventajas de los grandes telescopios están empezando a demostrarse a través de los resultados obtenidos con el telescopio Keck, en Hawái. Con un telescopio de 8 m pueden estudiarse, por ejemplo, **galaxias espirales en el cúmulo de Coma**, que es un cúmulo muy denso de galaxias con un entorno distinto a cualquier otro accesible a los instrumentos con los que observamos actualmente. Sería muy interesante estudiar la composición química y la temperatura de las estrellas que causan la ionización en sistemas tan lejanos. El estudio de las líneas de absorción en nubes interstelares de alto z puede realizarse mucho mejor con un telescopio mayor. De hecho, hay una mejoría considerable al pasar de un telescopio de 4 m a uno de 8 m. La razón es simplemente que el número de cuásares de los que se puede recibir suficiente luz para obtener espectros de alta relación señal-ruido, con alta resolución espectral, aumenta rápidamente a medida que podemos detectar objetos más débiles.

Por tanto, a mayor tamaño del telescopio, mucho mayor es el número de cuásares que se pueden observar, con lo que se puede tener una colección mucho mayor de **clases diferentes de nubes intergalácticas**. Además, para ir a mayores desplazamientos al rojo, salvo para determinadas galaxias excepcionales, se requiere sin duda telescopios mayores. Todo esto podría dar gran cantidad de información sobre la población de galaxias normales a z considerablemente mayores y, por tanto, a distancias considerablemente mayores de las que podemos alcanzar actualmente. Esto está relacionado con cuestiones tan importantes como **en qué época del Universo se formaron las galaxias; a qué distancias pueden encontrarse galaxias y ser todavía reconocibles como tales; y, quizá, incluso darnos información acerca de la estructura del Universo.**”

ENTREVISTA BERNARD PAGEL: “La alquimia del Cosmos”

Profesor en la V Canary Islands Winter School del IAC sobre “La formación de las galaxias”, 1993.

PUBLICAR O MORIR: “... Otro problema que se plantea actualmente es la abundancia de artículos con más de un autor, en los que el lector no puede apreciar la contribución de un autor en concreto...”



M33. © M. Schirmer/IAC



© IAC

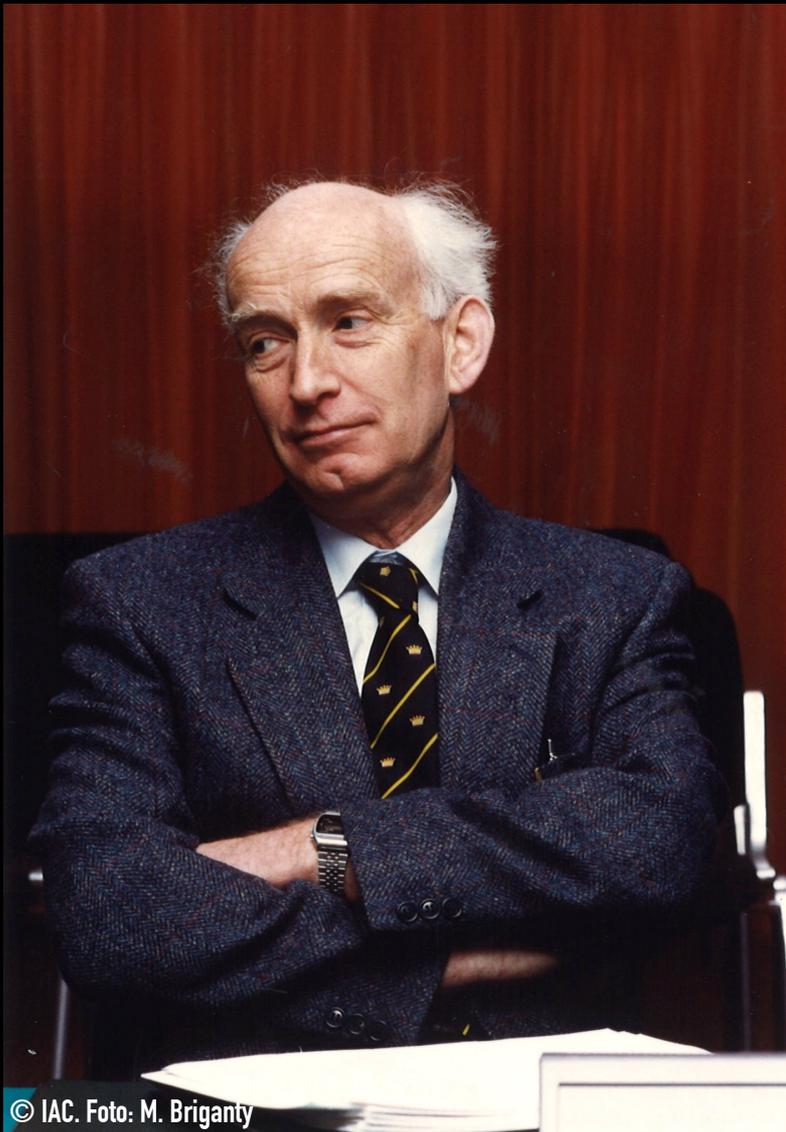
Dirigió la tesis de J. M. Vilchez: “Estructura de ionización y composición química de regiones HII en M33” (IAC/ULL).

Le gustaba el buen vino, que descubrió tras sus estancias en Sudáfrica y Australia.

Amante de la música, sobre todo el “Rondo alla Turca”, de Mozart.

Donald Lynden-Bell

(1935-2018)



© IAC. Foto: M. Briganty

- Nació en Dover (Reino Unido).
- Licenciado en Matemáticas y Física Teórica por la Univ. de Cambridge (UC).
- Doctor en **Astrofísica Teórica** por la UC.
- Primer director del Instituto de Astronomía de la UC.
- Presidente de la Royal Astronomical Society.
- Investigación:
 - Argumentó, con Allan Sandage, que la **Vía Láctea** se originó por el colapso dinámico de una gran nube de gas.
 - Fue uno de los apodados "**Siete Samurais**" que postularon la existencia del **Gran Atractor**, una gran concentración de materia en Hydra-Centauro.
 - Planteó, con Martin Rees, la posible existencia de **agujeros negros supergigantes en el centro de las galaxias**, alimentados por **cuásares**.

Instituto de Astronomía de la Univ. de Cambridge (Reino Unido).

La naturaleza de la materia oscura

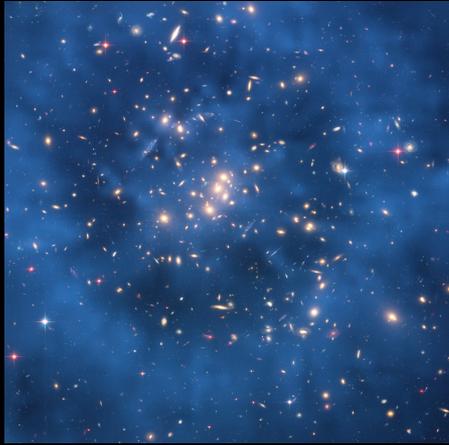


Imagen compuesta del cúmulo de galaxias CL0024+17 tomada por el telescopio espacial Hubble que muestra la creación de un efecto de lente gravitacional. Se supone que este efecto se debe, en gran parte, a la interacción gravitatoria con la materia oscura. Crédito: ASA, ESA, M.J. Jee and H. Ford (Johns Hopkins University).

Aún no se hablaba de "energía oscura" término acuñado por Michael Turner en 1998.

“Dependería mucho del **equipo instrumental** con el que contara. Si contase sólo con mi cerebro (que es poco más o menos con lo que cuento por ahora), entonces escogería estudiar la naturaleza de la materia oscura. Actualmente creemos que es lo que compone la mayor parte del Universo y que es invisible, pudiendo detectarse sólo a través de sus efectos gravitatorios.

– Abordaría este problema observando los **grandes cúmulos de galaxias**, sobre todo aquéllos para los que tenemos diversas formas de determinar la cantidad de materia oscura que contienen. En los mejores casos, hemos descubierto recientemente **arcos en torno a los centros de los cúmulos**, que son imágenes de galaxias muy distantes. Estos arcos nos dan información nueva acerca de la gravedad del cúmulo que otros investigadores no han estudiado aún.

– Además, están los **movimientos internos de las distintas galaxias en el cúmulo**, que pueden ayudarnos a calcular la cantidad de materia contenida en el cúmulo.

Por último, tenemos las **observaciones en rayos X realizadas con satélites**.

Yo trataría de buscar cúmulos para los que contásemos con todos estos datos, de manera que pudiéramos comprobarlos, contrastarlos y reunir un buen conjunto de datos para analizar. Sería mejor **estudiar en detalle un pequeño grupo de cúmulos** que estudiar superficialmente 20 ó 30 cúmulos. El estudio de esos 2 ó 3 cúmulos sería una buena forma de abordar el problema.”

Hoy en día, el estudio del efecto lente gravitatoria en cúmulos de galaxias es otra herramienta central de la Cosmología. Efectivamente, ha servido para medir de manera independiente la cantidad de materia oscura. El grupo del IAC ha estudiado más de 200 nuevos cúmulos detectados por Planck.

Telescopios especializados



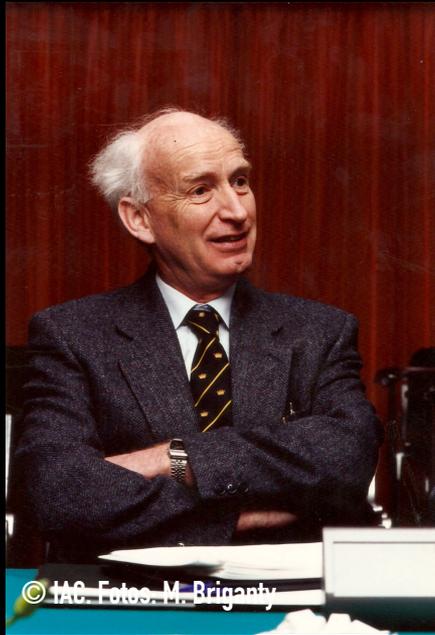
© IAC. Foto: M. Briganty

“La Astronomía sólo avanza con sus instrumentos. Yo soy de los que creen que son los avances militares quienes dirigen, a menudo, la tecnología, y esto, no obstante, es importante para el desarrollo tecnológico; y que los avances en Astronomía van a expensas del desarrollo tecnológico. Se han producido grandes progresos en la forma de construir telescopios de gran tamaño. El resultado es que **los mejores astrónomos acudirán, de una u otra forma, a donde se encuentren los mejores instrumentos.**”

En Astronomía es muy importante contar con grandes telescopios, pero éstos no deben construirse como instrumentos multiuso, que son buenos para todo pero excepcionales en nada. Deberían construirse de tal manera que fueran excepcionales para una o dos cosas, pudiendo intercambiar tiempo de observación con otros que fueran excepcionales en otras cosas. Creo que es mucho más importante especializar cada telescopio en algo que sea único, antes que construir otro telescopio de 8 m cuando ya hay otros tres o cuatro construidos. Me parece muy importante que se construya **un telescopio que sea único y que sea el mejor telescopio del mundo en su especialidad.**”

ENTREVISTA
DONALD LYNDEN- BELL: “Arquitectura en el espacio”

Profesor de la V Canary Islands Winter School del IAC sobre “La formación de las galaxias”, 1993.



PUBLICAR O MORIR: “El incremento de la productividad no implica necesariamente un aumento de las publicaciones. Lo importante es el entusiasmo.” (Palabra de Samurai)



© IAC. Foto: M. Briganty

Ígor D. Nóvikov

(1935)

- Nació en Moscú (Rusia).
- Licenciado y doctorado en **Astronomía** por la Univ. Estatal de Moscú.
- Director del Dpto. Astrofísica Relativista del Inst. de Investigaciones Espaciales de Moscú.
- Director del Dpto. Astrofísica Teórica del Inst. de Física Lebedev de Moscú.
- Director del Inst. Nórdico de Física Teórica (NORDITA), de Copenhague (Dinamarca).
- Director del Centro de Astrofísica Teórica (TAC), de la Univ. de Copenhague (Dinamarca).
- Investigación:
 - **Cosmología**
 - **Física Gravitacional.**
 - **Formuló el principio de autoconsistencia, contribución a la teoría del viaje a través del tiempo.**

Centro de Astrofísica Teórica (TAC), de la Univ. de Copenhague (Dinamarca).



El origen del Universo



Gerd Altmann/Pixabay

“Si fuera un astrónomo joven –y me siento una persona joven incluso ahora–, me gustaría empezar trabajando en los problemas que supone un mayor reto para la Ciencia, para la gente, para los astrónomos. Desde luego, esto depende de cada uno y del campo en el que se trabaje. Para mí, el problema más interesante en Cosmología es la cuestión del propio origen del Universo. ¿Qué puede ser más importante, más interesante, más maravilloso que el origen de nuestro universo, de nuestro mundo? Sabemos ya algo de este tema. Sabemos que algunas leyes físicas, algunas propiedades de esa época, tienen consecuencias observacionales. Por lo tanto, podemos comprobar nuestras teorías. **El problema no es ya pura teoría, sino que está relacionado con la observación en Cosmología.**”

Ondas gravitatorias



Impresión artística de las ondas gravitatorias de dos agujeros negros en órbita. © K. Thorne (Caltech) y T. Carnahan (NASA GSFC)



Observatorio LIGO en Hanford, Washington. © LIGO Laboratory.

“Hay problemas muy interesantes en la **Astrofísica Relativista**. En este campo me parece que el problema más interesante es el de las ondas gravitatorias. Ahí está el futuro de la Astronomía.

Recuerdo los comienzos de la Radioastronomía y la Astronomía de Rayos Gamma. Ahora nos aproximamos a la **Astronomía de Neutrinos**. Sabemos que las nuevas posibilidades trajeron consigo nuevas perspectivas.

Cuando tratamos el problema de las ondas gravitatorias, se abre ante nosotros la posibilidad de observar **el centro de las galaxias**, de acceder a zonas en que los objetos están muy cercanos los unos a los otros y la única forma que tenemos de estudiarlos es a partir de sus **radiaciones gravitatorias**.”

Nuevas herramientas

“Hace muchos años, cuando oí hablar del **Telescopio Espacial Hubble**, pensé que iba a ser algo absolutamente maravilloso, porque con su ayuda podrían resolverse prácticamente todos los problemas importantes. Y todos conocemos el éxito de este observatorio, el HST. Pero se plantearon nuevos interrogantes, en parte como consecuencia del funcionamiento del HST y en parte debido al propio desarrollo de la Astronomía.”



Necesitamos instrumentos nuevos, nuevas herramientas para solucionar estos nuevos problemas, y una de las posibilidades es la construcción de telescopios de grandes dimensiones. Ahora entiendo que es absolutamente inevitable contar con **telescopios terrestres muy grandes, no sólo telescopios espaciales**, porque con ellos **podemos captar enormes cantidades de luz procedente de objetos muy débiles alcanzando también una mayor resolución angular.**

Con estos telescopios se podrán estudiar, por ejemplo:

- **Cefeidas en galaxias muy distantes.**
- **Regiones centrales de galaxias y los procesos relativistas en la vecindad de agujeros negros supermasivos.**

Estos son solo unos pocos ejemplos de los problemas que podrán resolverse con telescopios más grandes. Así que creo que es una **gran oportunidad para la Astronomía** que los colegas españoles sigan adelante con el proyecto emprendido de la construcción de un telescopio de 8 m.”



Astronomía exótica

ENTREVISTA

IGOR NOVIKOV: “Dentro de 100 años, la máquina del tiempo será teóricamente viable”



Fotograma de The Time Machine (El tiempo en sus manos), George Pal (1960)

“Podría haber algún tipo de **agujeros de gusano** que sirvieran de unión entre diferentes universos, incluido el nuestro, de manera que a través de ellos pudiéramos obtener información sobre estos otros universos.



Needpix

“La evolución de las fluctuaciones cuánticas, el espacio y el tiempo juntos dan lugar a muchas estructuras topológicas diferentes, que formarían lo que llamamos **espuma cuántica**. A partir de ella pueden irse individualizando pequeñas burbujas en un espacio de tiempo muy breve. Esas pompas crecen y vuelven de nuevo al principio, como en un proceso de ebullición de la extraña materia.”

Rashid A. Sunyaev

(1943)



© IAC. Foto: M. Briganty

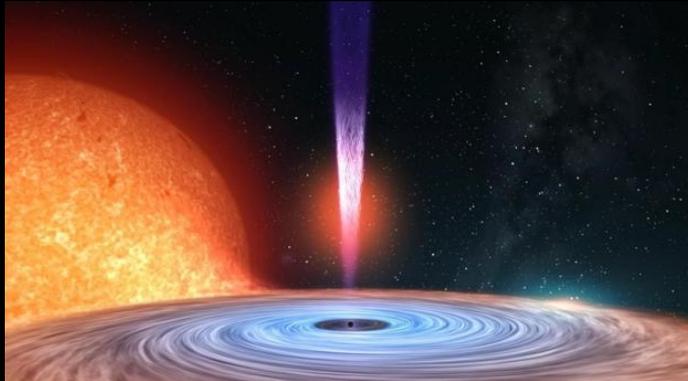
- Nacido en Tashkent (Uzbekistán), en 1943.
- Estudiante de Ya. B. Zeldovich en el Inst. de Matemáticas Aplicadas de la Academia de Ciencias de Moscú.
- Catedrático de la Univ. de Moscú.
- Director del Dpto. de Astrofísica de Altas Energías del Inst. de Investigación Espacial de la Academia de Ciencias de Moscú.
- Director del Instituto Max Planck de Astrofísica.
- Responsable científico de los observatorios de rayos X GRANAT y MIR-KVANT. Y director de SPECTRUM-X-GAMMA (eROSITA).
- Editor de la revista rusa Astronomy Letters.
- Investigación:
 - Astrofísica Relativista y Cosmología.
 - Teoría estándar del disco de acreción de los agujeros negros.
 - **El efecto Sunyaev-Zel'dovich (SZ)**: El resultado de la interacción de la radiación de fondo de microondas (CMB) con electrones libres a una temperatura mayor a la de su entorno. Se observa en las grandes estructuras del Universo, como los **supercúmulos o cúmulos de galaxias**, causando un desplazamiento al azul en el espectro del CMB.

Dpto. de Astrofísica de Altas Energías del Inst. de Investigación Espacial. Academia de Ciencias de Moscú.

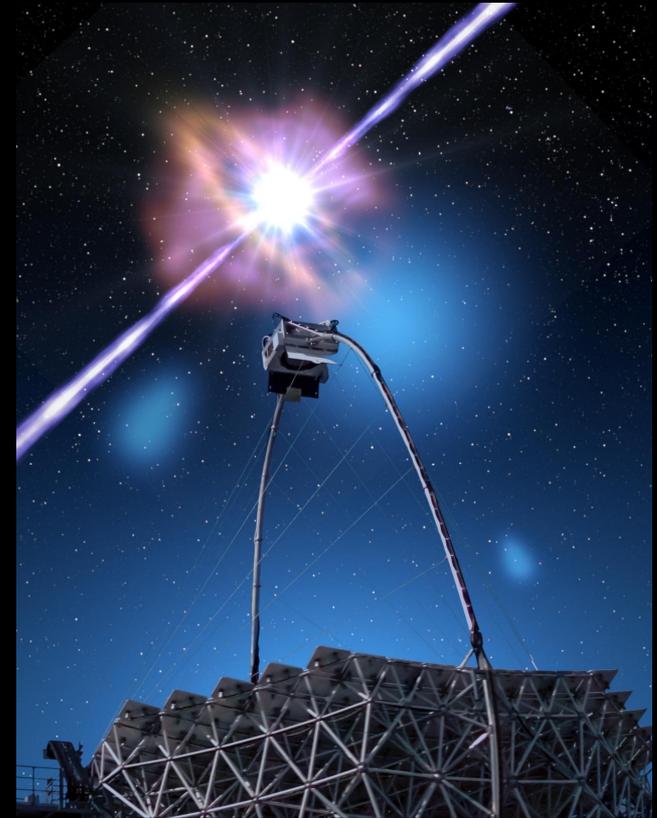
La física en condiciones extremas

“Hace treinta años que comencé a trabajar con el Prof. Yakov Zeldovich. He pensado mucho sobre la pregunta que me formulan y he llegado a la conclusión de que, incluso si empezara de nuevo en Astronomía, volvería a trabajar sobre el mismo problema que estoy estudiando, es decir, **la interacción entre materia y radiación en condiciones astrofísicas extremas. La Cosmología y la Astrofísica de Altas Energías** son las mejores áreas para investigar la física y sus leyes en condiciones extremas, cuando se dan campos gravitatorios extremadamente intensos, campos de radiación enormemente intensos, temperaturas extremadamente altas o bajas, todo ello de gran interés actualmente.”

Convicción casi del 100% de la existencia de agujeros negros de tipo estelar y de que el sistema V404, descubierto por Jorge Casares (IAC) con el WHT, sigue siendo uno de los mejores candidatos a agujero negro.



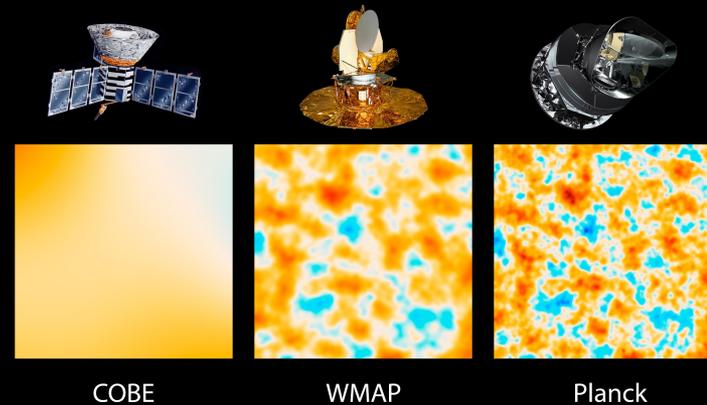
Impresión artística de un agujero negro. © IAC. Autor: G. Pérez



Impresión artística del primer estallido de rayos gamma en altas energías detectado por MAGIC. © IAC. Autor: G. Pérez

El cielo en microondas

“Creo que también que vivimos en una época maravillosa en la que parece que podemos resolver muchos problemas sobre el estudio de nuestro universo e, incluso, de su futuro. Me produjo mucha satisfacción ver que aquí, en Tenerife, el grupo del Dr. Rebolo está **observando la huella de la historia del Universo en el cielo de micoondas**. Esto ha sido extremadamente importante, pues esta huella ha permanecido en el mismo lugar del cielo a lo largo de miles de millones de años”.



Construcción simultánea



© IAC. Foto: M. Briganty

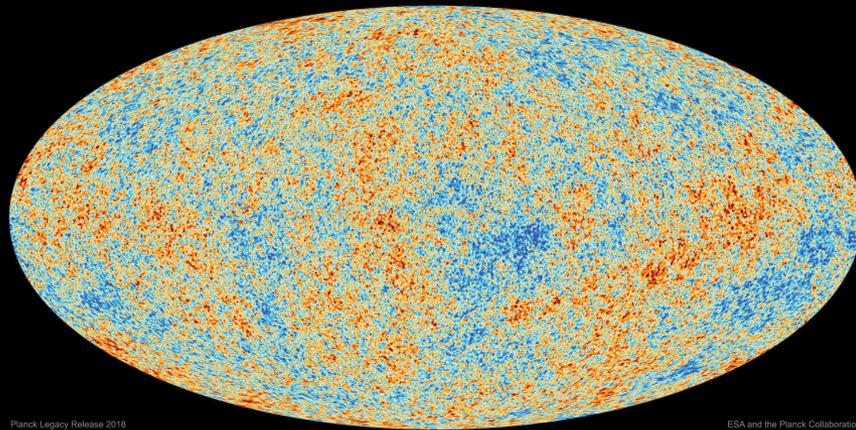
“Es muy interesante ver cómo evoluciona la Astronomía. Hoy en día, casi todo el mundo reconoce la importancia que tienen para los astrofísicos los grandes telescopios, de la clase de 8 y 10 m, a la hora de obtener un enorme caudal de información. Como saben, se está planteando **la construcción de telescopios de 8 m simultáneamente en EEUU, Japón y Europa.**

España cuenta con muy buenas condiciones, mucho mejores que, por ejemplo, Rusia, porque en Rusia no tenemos buenos emplazamientos astronómicos de la calidad de los que España tiene en las Islas Canarias. Así que creo que la decisión de los astrónomos españoles y de su Gobierno de apoyar la construcción de un telescopio de 8 m en las Islas Canarias es muy acertada e inteligente.”

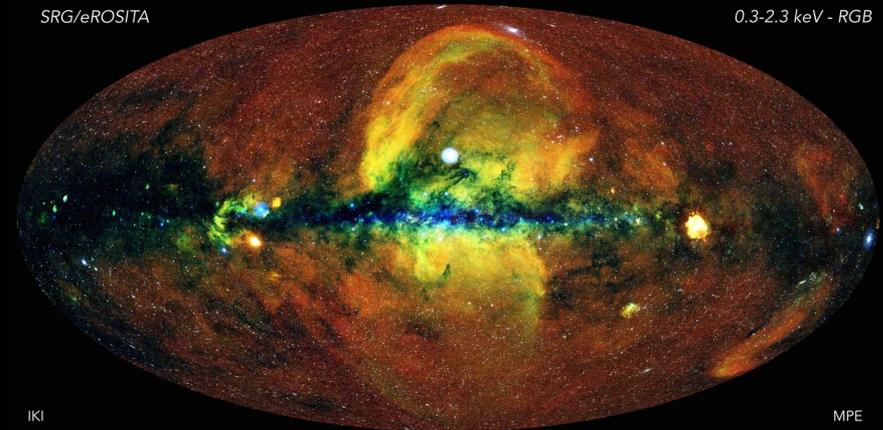
Astronomía Extragaláctica y Cosmología

“Los telescopios de esta clase pueden proporcionarnos una gran cantidad de información sobre el **pasado reciente de nuestro universo, desde el presente hasta la época en que el Universo tenía prácticamente una décima parte de su edad actual.** Por otra parte, un telescopio de estas dimensiones, equipado con **detectores infrarrojos**, nos permiten observar **fuentes que se esconden tras nubes moleculares en las regiones de formación estelar.**

Pero creo que **la Astronomía Extragaláctica y la Cosmología** son las metas principales de esta clase de telescopios. Entre los astrónomos ópticos rusos que trabajan en proyectos internacionales existe también el deseo de conseguir tiempo de observación en telescopios de 8 m.”



Mapa del Fondo Cósmico de Microondas © ESA, Colaboración Planck.



El Universo energético visto por el telescopio de rayos X eROSITA © SRG/eROSITA.

Donald E. Österbrock

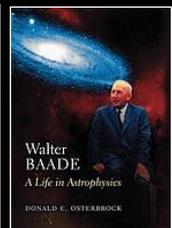
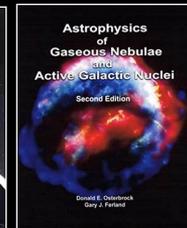
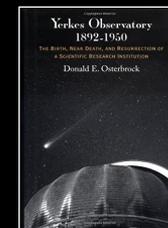
(1924–2007)



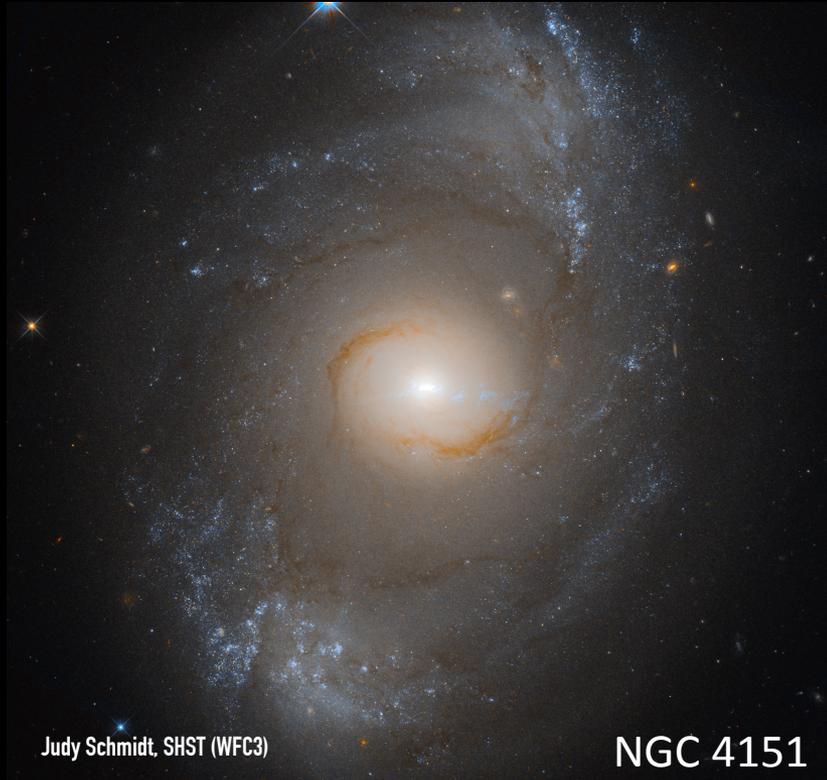
© IAC. Foto: M. Briganty

Univ. de California/Lick Observatory, en Santa Cruz (California).

- Nació en Cincinnati (Ohio, EEUU).
- Estudiante de Subrahmanyan Chandrasekhar en el Obs. Yerkes/Univ. de Chicago.
- Director del Observatorio de Lick.
- Demostró la existencia de los brazos espirales de la Vía Láctea.
- Investigación:
 - Demostró la existencia de los brazos espirales de la Vía Láctea.
 - El gas en núcleos activos de galaxias alimentados por agujeros negros.
 - La naturaleza de los gases ionizados alrededor de estrellas calientes y medio interestelar.
- Presidente de la Sociedad Astronómica Americana.
- 12 monografías sobre Astronomía y la Historia de la Astronomía.



Núcleos activos de galaxias



Judy Schmidt, SHST (WFC3)

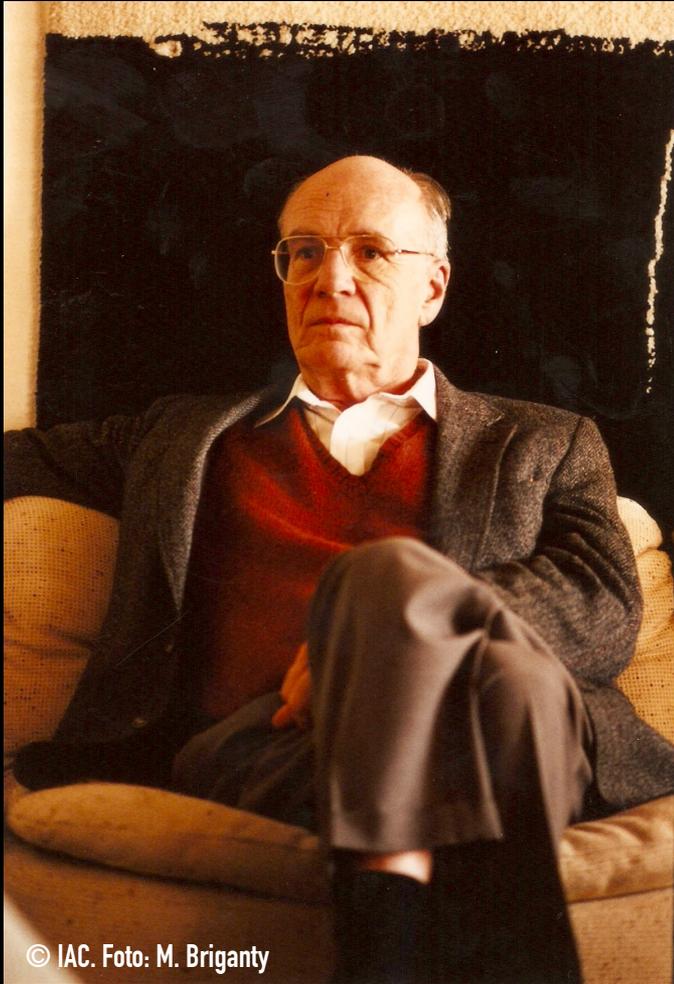
NGC 4151

“Muchas, si no todas, las galaxias “normales” contienen agujeros negros en sus núcleos, que sin combustible nuevo en forma de gas con un momento angular casi cero son inactivos.”

“Las fuentes de energía más potentes que se conocen en todo el Universo y, además, los objetos más distantes que podemos observar. A través de ellos, se puede reconstruir la historia del Universo en que vivimos.

La historia de la Astronomía consiste en responder a preguntas como quiénes somos, de dónde venimos y hacia dónde vamos, pero a escala cósmica. Todos los pueblos y civilizaciones se han interesado por su propia visión del Cosmos. Creo que en la Ciencia tenemos las respuestas a estas cuestiones y los núcleos activos de galaxias son los objetos más fascinantes con los que se puede empezar a trabajar si uno fuera a comenzar de nuevo.”

Futuro del Universo



© IAC. Foto: M. Briganty

“Sabemos que toda la materia del Universo, excepto el hidrógeno y el helio, procede del interior de las estrellas. Así que nuestro cuerpo está hecho de átomos de carbono, silicio y otros elementos que se produjeron en el interior de las estrellas de generaciones pasadas. ¿Cómo sabemos que el Universo empezó siendo mucho más quequeño de lo que es? “

“Sabemos que actualmente se encuentra en expansión, pero **no sabemos si va a continuar expandiéndose indefinidamente o si va a detenerse e invertir el proceso.** Si el mundo, las estrellas y todas las cosas están abocadas a desaparecer en un resplandor gigantesco al final, o si van a continuar su movimiento en expansión en el espacio.”

“Son preguntas cuya respuesta a todos nos gustaría conocer.”

Los límites de nuestro conocimiento

“Creo que sería muy importante construir un telescopio de 8 m en España, en las Islas Canarias, que cuenta con grandes **ventajas climáticas y geográficas**, al tener **montañas altas, cielos muy claros y una atmósfera muy estable**. Pocos países tienen algo comparable. En esta reunión he podido conversar con muchos jóvenes astrónomos que se encuentran, ciertamente, entre los mejores que he conocido en el mundo. Creo que el país puede llegar muy lejos.



Con A. Mampaso (a la izquierda) y con R. Rebolo (a la derecha). © IAC. Fotos: M. Briganty

“Para poder estudiar el Universo, es absolutamente necesario tener telescopios. A medida que avanzamos, vamos empujando los límites de nuestro conocimiento y debemos observar **objetos cada vez más lejanos, objetos cada vez más raros, lo que siempre significa objetos cada vez más débiles**, y esto requiere telescopios de mayor tamaño. Por supuesto, con los grandes telescopios tenemos que utilizar tecnología muy avanzada para poder obtener los datos, y ustedes, aquí en España, cuentan con ella y la están utilizando muy bien. Es una oportunidad magnífica para su país.”

El más veterano del grupo



© IAC. Foto: M. Briganty



© IAC. Foto: M. Briganty

Pronunció las palabras de despedida del Encuentro.

Todo un caballero, con elegantes **corbatas y sombreros**.

Le acompañaba su esposa, **Irene Osterbrock** (a la izda. en primera foto, a la derecha en la segunda), quien conoció a su marido cuando era "computadora" del Observatorio de Yerkes. Después, vinculada a la Universidad y mecenas de la Astronomía. En las fotos le acompaña también la astrónoma **Mary Connelly**, esposa de Allan Sandage, también presente en Tenerife.



© IAC. Foto: M. Briganty

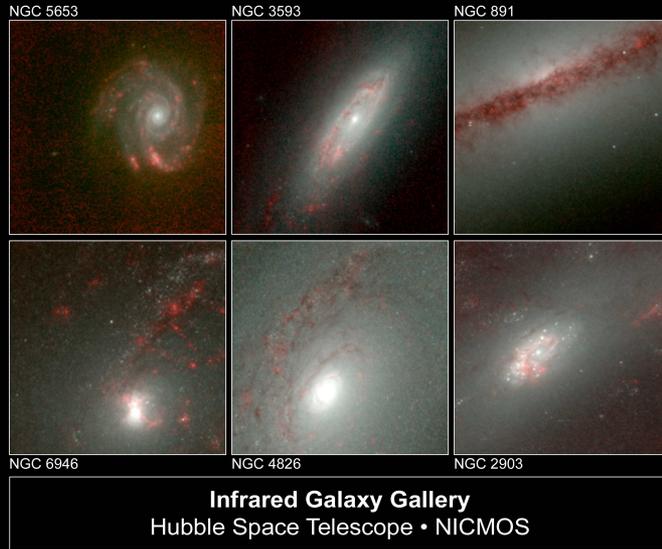
Malcolm S. Longair

(1941)

- Nació en Dundee, Escocia (Reino Unido).
- Licenciado en Física Electrónica por la Univ. de St. Andrews.
- Doctorado en Radioastronomía, en el Lab. Cavendish de Cambridge, con Martin Ryle.
- Trabajó con V.I. Ginzburg y Ya. B. Zeldovich en el Instituto Lebedev de Moscú.
- Astrónomo Real de Escocia.
- Profesor Regio de Astronomía de la Univ. de Edimburgo.
- Director del Observatorio Real de Escocia.
- Cátedra Jacksonian de Filosofía Natural de la Univ. de Cambridge.
- Presidente de la Comisión Gemini para la construcción de telescopios de 8 m en los hemisferios norte y sur.
- Campos de investigación:
 - **Astrofísica de Altas Energías.**
 - **Cosmología Astrofísica.**
- Gran divulgador de la Astronomía.
- Presentó las conclusiones del Congreso.

Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge (Reino Unido).

La evolución de las galaxias



PRC99-10 • STScI OPO • T. Böker (STScI), the STScI NICMOS Group and NASA

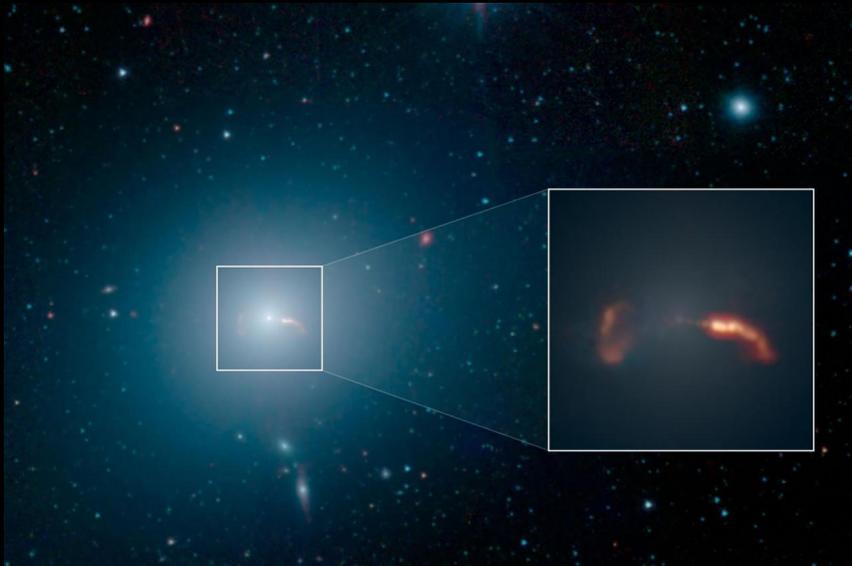
“El origen de las galaxias, no en la época más temprana, sino la forma en que podemos estudiar su evolución a lo largo del 90% de la edad del Universo. La razón: los telescopios que se construyen actualmente podrán estudiar directamente la evolución de las galaxias en ese periodo del Universo. Un área de investigación muy interesante sería, por tanto, **la determinación observacional de la evolución de las galaxias desde la época en que el Universo tenía una décima parte de su edad actual.**”

Una de las formas de llevarlo a cabo es mediante la utilización de grandes telescopios con **detectores infrarrojos bidimensionales**. Cuando observamos en la longitud de onda visible, las imágenes son confusas debido a la interacción de las galaxias y la formación de estrellas jóvenes; pero, al observar en la longitud de onda infrarroja, podemos **ver las poblaciones estelares subyacentes de las galaxias**. Los telescopios del Observatorio del Roque de los Muchachos son estupendos, están equipados con potentes detectores infrarrojos y creo que los estudios que se realicen con ellos serán importantes.”



Sistemas activos

“Otra área de interés para mí es **la relación entre las galaxias activas y las galaxias en general**. Uno de los resultados más interesantes de esta reunión es que hay pruebas convincentes de que diferentes tipos de sistemas activos se engloban dentro de ciertos esquemas de unificación. Creemos que **los cuásares y las radiogalaxias, las galaxias Seyfert y otros tipos de galaxias pudieran ser todos ellos aspectos diferentes del mismo fenómeno**.



Imágenes de Spitzer de la galaxia M87. © NASA/JPL-Caltech/IPAC/Event Horizon Telescope Collaboration.

Creo que entender por qué las galaxias se comportan así es fundamental para entender **la formación de los agujeros negros supermasivos en los Núcleos Activos de Galaxias** y cómo pueden proporcionarles **energía**. Uno de los grandes problemas que se plantean en esta área es por qué distintos tipos de galaxias activas parecen pertenecer a diferentes tipos de galaxias. Sorprendentemente, este es uno de los grandes enigmas en este campo; por qué las galaxias espirales parecen albergar un tipo de núcleo galáctico, y otro tipo de galaxias, las galaxias elípticas, contienen objetos que emiten en radio.”

Colaboración tecnológica

“Cuando supe de los planes de construcción de un telescopio óptico-infrarrojo de 8 m en las Islas Canarias, la idea me pareció muy interesate. Es un proyecto muy atractivo porque nos adentramos en la era en que los instrumentos más avanzados para observar en las longitudes de onda ópticas-infrarrojas serán telescopios de la clase de 8 a 10 m. Ahora sabemos cómo construir esos telescopios, hay ejemplos de ellos en los EEUU, como el Telescopio Keck en Hawái, y el telescopio europeo VLT en construcción. Otros países, como Canadá, Reino Unido, EEUU y algunos países sudamericanos colaboran en el proyecto Gemini. Estos instrumentos están diseñados para que los astrónomos de estos países tengan acceso a los instrumentos más potentes para el estudio del Universo. Es muy importante que este excelente observatorio de las Islas Canarias cuente con uno de estos instrumentos, porque la calidad de la ciencia que aquí se hace es magnífica, y los excelentes astrónomos que hay aquí necesitan acceso a instrumentos más potentes como éstos para realizar sus investigaciones. Destaca **la colaboración existente entre los diferentes proyectos de telescopios de 8 m.**

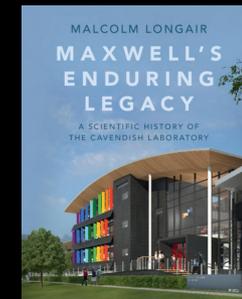
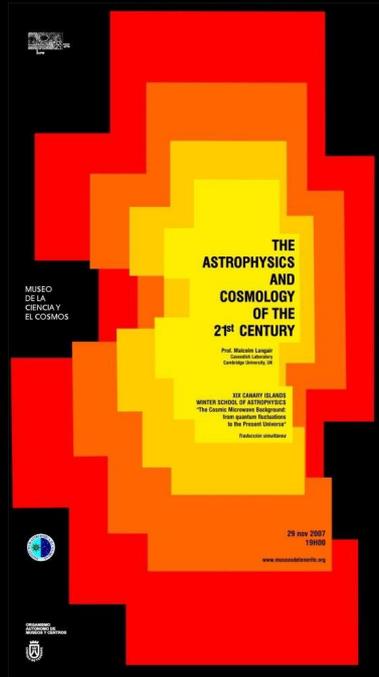


Yo participo en el **proyecto Gemini**, y mantenemos una muy buena colaboración con nuestros colegas europeos del proyecto VLT y con los astrónomos japoneses que trabajan en el proyecto de construcción de su gran telescopio [Subaru]. **Una de las facetas más notables en la tecnología astronómica moderna es que los grupos están colaborando para asegurar que se construyan los mejores telescopios de 8 m posibles.** Espero que los ingenieros que participan en el proyecto del IAC colaboren con nosotros en el diseño de un magnífico instrumento en este excepcional emplazamiento.”

Telescopios Gemini Norte (Hawái) y Sur (Chile). © NOAO/AURA/NSF.

ENTREVISTA **MALCOLM LONGAIR: Probando el Big Bang**

Sobre la Cosmología de precisión, por N. Zelman y C. del Puerto.



Utilidad de un término para un concepto

“COSMOSOMAS” no le gustaba demasiado en principio. “Si el término es bueno o malo, dependerá de su utilidad para el concepto. Las palabras inventadas a veces sobreviven y a veces no.”

Experimento COSMOSOMAS



DRAFT VERSION FEBRUARY 2, 2008
Preprint typeset using L^AT_EX style emulatej v. 6/22/04

DETECTION OF ANOMALOUS MICROWAVE EMISSION IN THE PERSEUS MOLECULAR CLOUD WITH THE COSMOSOMAS EXPERIMENT

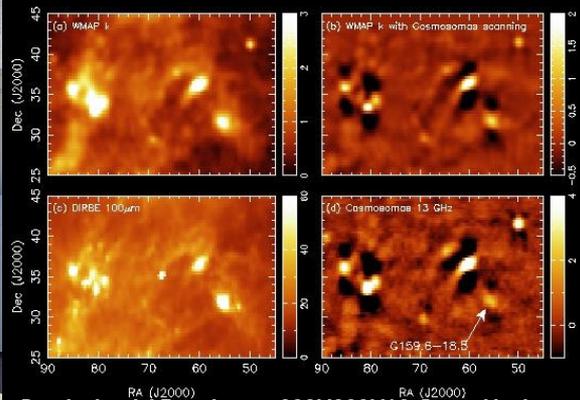
R. A. WATSON¹, R. REBOLO², J. A. RUBINO-MARTÍN², S. HILDEBRANDT², C. M. GUTIERREZ², S. FERNÁNDEZ-CEREZO², R. J. HOVLAND² AND E. S. BATTISTELLI²

¹ Jodrell Bank Observatory, Macclesfield, Cheshire, SK11 9DL, UK
² Instituto de Astrofísica de Canarias, 38200 La Laguna, Tenerife, Spain;
raw@iac.es, rrl@iac.es, jalberto@iac.es, srl@iac.es, cgc@iac, scerezoz@iac, rjh@iac, elia.stefano.battistelli@roma1.infn.it
Draft version February 2, 2008

ABSTRACT

We present direct evidence for anomalous microwave emission in the Perseus molecular cloud, which shows a clear rising spectrum from 11 to 17 GHz in the data of the COSMOSOMAS experiment. By extending the frequency coverage using *WMAP* maps convolved with the COSMOSOMAS scanning pattern we reveal a peak flux density of 42 ± 4 Jy at 22 GHz integrated over an extended area of $1.65^\circ \times 1.0^\circ$ centered on RA=55.4 $^\circ \pm 0.1^\circ$ and Dec=31.8 $^\circ \pm 0.1^\circ$ (J2000). The flux density that we measure at this frequency is nearly an order of magnitude higher than can be explained in terms of normal galactic emission processes (synchrotron, free-free and thermal dust). An extended *IRAS* dust feature G159.6-18.5 is found near this position and no bright unresolved source which could be an ultracompact H II region or gigahertz peaked source could be found. An adequate fit for the spectral density distribution can be achieved from 10 to 50 GHz by including a very significant contribution from electric dipole emission from small spinning dust grains.

Subject headings: diffuse radiation — dust, extinction — ISM: individual (G159.6-18.5) — radiation mechanisms: general — radio continuum: ISM



Experimento COSMOSOMAS en el Observatorio del Teide © IAC

Resultados del Experimento COSMOSOMAS. Detección de una emisión en microondas anómala en la nube molecular de Perseo. Crédito: R. Watson et al.

Los Burbidge



© W.W. Girdner/Caltech Archives.

**El matrimonio
de científicos
más conocido
del mundo de
la Astronomía.**



© IAC. Foto: M. Briganty

Geoffrey R. Burbidge

(1925–2010)



© IAC. Foto: M. Briganty

- Nació en Chipping Norton, Oxfordshire (Reino Unido).
- Licenciado en Física Teórica por la Univ. de Bristol.
- Doctor en **Física Teórica** por la Univ. de Londres.
- Investigador en la Institución Carnegie/Obs. de Mount Wilson (Pasadena, California).
- Director del Obs. Nacional de Kitt Peak de EEUU.
- Campo de investigación:
 - Coautor del artículo en la revista *Reviews of Modern Physics* que explica el origen de los elementos químicos en el interior de las estrellas y conocido por las iniciales de los apellidos de los autores **B² FH** (Burbidge, Burbidge, Fowler y Hoyle).
 - Defensor con Fred Hoyle y Jayant Narlikar del **modelo del Estado Cuasi-Estacionario como alternativa al Big Bang**.
 - **Cuásares y radiogalaxias**.
- Editor del *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*.
- Casado con la astrónoma Margaret Burbidge.

Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Univ. de California en La Jolla (EEUU).

La física de las galaxias

“Yo era físico teórico y no tenía ni idea de Astronomía cuando empecé. Pero, ahora, con la experiencia adquirida, creo que la cuestión más importante que trataría de resolver sería la de conocer la física de las galaxias. Sabemos mucho acerca de las estrellas aisladamente, cómo se formaron y por qué brillan, y cosas así. Pero cuando se trata de **un gran número de estrellas en movimiento, unidas por fuerzas gravitatorias**, nuestro conocimiento es menor. No sabemos en realidad **por qué existen** ni tampoco sabemos **cuál será su evolución** con el tiempo. Así que, si yo fuera a empezar de nuevo, estudiaría la física de las galaxias, de cada una de las fases de su evolución.”

Galaxia NGC 7331 y grupo de galaxias Deer Lick, obtenida con el telescopio IAC-80, en el Observatorio del Teide (Tenerife). © IAC. Foto: D. López.

Problemas de la Astronomía moderna

“Lo que están haciendo ustedes es algo estupendo. **Necesitamos telescopios de gran tamaño** para abordar prácticamente todos los problemas de la Astronomía moderna. Durante muchos años fui director del Observatorio Nacional de Kitt Peak. Allí obtuvieron tiempo de observación todos los astrónomos acreditados de los EEUU, así que tuve ocasión de comprobar el amplio abanico de problemas que pueden resolverse con telescopios reflectores de gran tamaño, y también con telescopios más pequeños. Aunque hay cada vez más telescopios localizados en buenos sitios, como Chile, el sur de EEUU, las Islas Canarias y Hawái, existen aún muchos más problemas astrofísicos que deben resolverse con estos telescopios.”



© Observatorio Nacional de Kitt Peak (Arizona, EEUU)/NOAO. Foto: Stephen Lea.

Cuanto mayor, mejor



“Si tenemos un reflector grande en un buen emplazamiento, podemos hacer casi todo lo necesario con él. Cuanto mayor sea el telescopio, mejor. Ustedes van a tener un telescopio de 8 m. En Hawái tienen ya telescopios de 10 m en funcionamiento, y en Chile, los europeos están construyendo uno aún mayor. Con un telescopio de 8 m podrán realizar una ingente cantidad de trabajo de primera clase. Creo que va a ser algo de lo que se sentirán orgullosos. También es **importante que hayan logrado convencer a su Gobierno para que aporte los fondos necesarios para el proyecto. Ustedes han conseguido más en un periodo corto de tiempo que muchos países en épocas pasadas.** Está destinado a ser un telescopio maravilloso y, a juzgar por los jóvenes astrónomos que he conocido aquí, van ustedes a tener mucho éxito.”

E. Margaret Burbidge

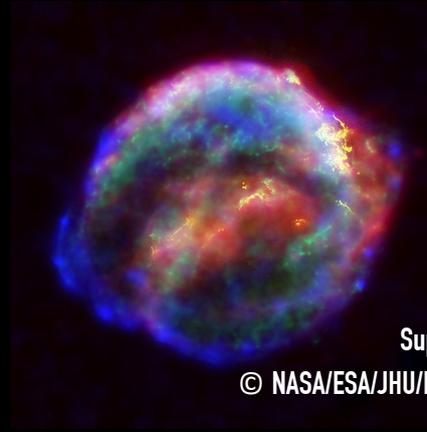
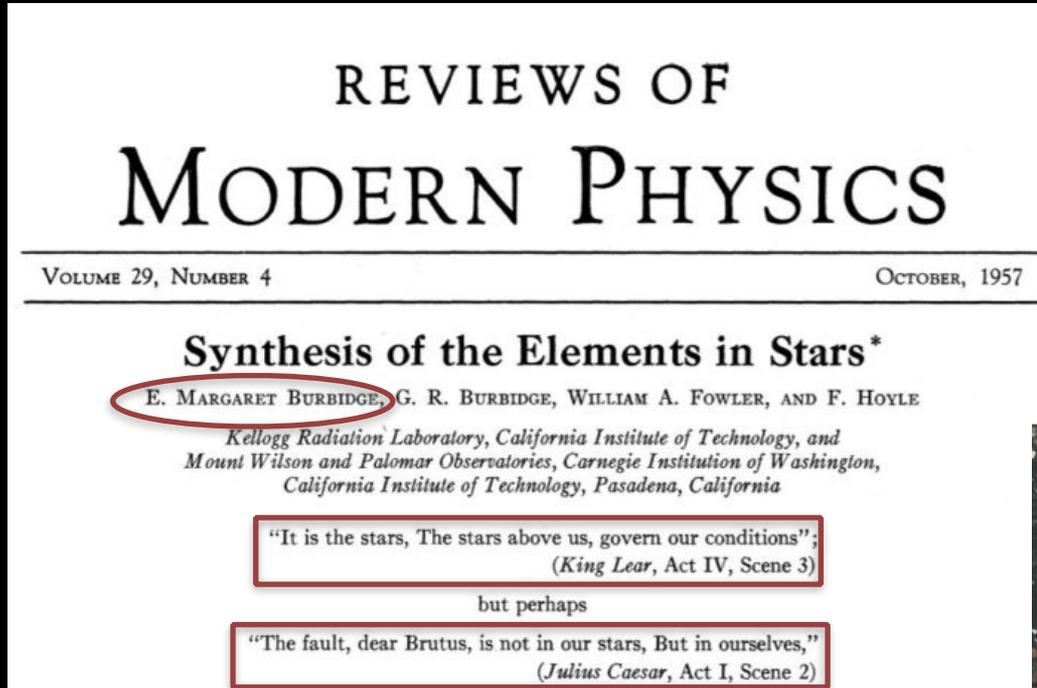
(1919–2020)

- Nació en Davenport, Cheshire (Reino Unido). Nacionalidad estadounidense.
- Licenciada y doctorada por la Univ. de Londres. Tesis sobre **el espectro de la estrella Gamma Cassiopeiae** (1943, durante la SGM).
- Directora del Obs. de la Univ. de Londres. Profesora de Arthur C. Clark.
- Profesora asociada en el Obs. de Yerkes/Univ. de Chicago.
- Trabajó en el Instituto de Tecnología de California (CALTECH).
- Se unió a la Univ. de California en San Diego (UCSD).
- Primera mujer directora del Royal Greenwich Observatory (RGO).
- Directora del Centro de Astrofísica y Estudios Espaciales de la UCSD.
- Vinculada al desarrollo de la instrumentación del Hubble (HST), como el espectrógrafo de objetos débiles FOS.
- Casada con el físico teórico Geoffrey Burbidge.
- Campos de investigación (observacional):
 - **Estudio de las propiedades físicas, las fuentes de energía y los mecanismos de radiación de los cuásares y galaxias activas.**
 - **Descubrió el cuásar más lejano conocido hasta 1982.**
 - **Defendió en principio el modelo del Estado Cuasi-Estacionario.**

© IAC. Foto: M. Briganty

Centro de Astrofísica y Ciencia Espacial de la Univ. de California en La Jolla (EEUU).

B²HF: Burbidge, Burbidge, Hoyle & Fowler



Supernova de Kepler.
© NASA/ESA/JHU/R.Sankrit & W.Blair



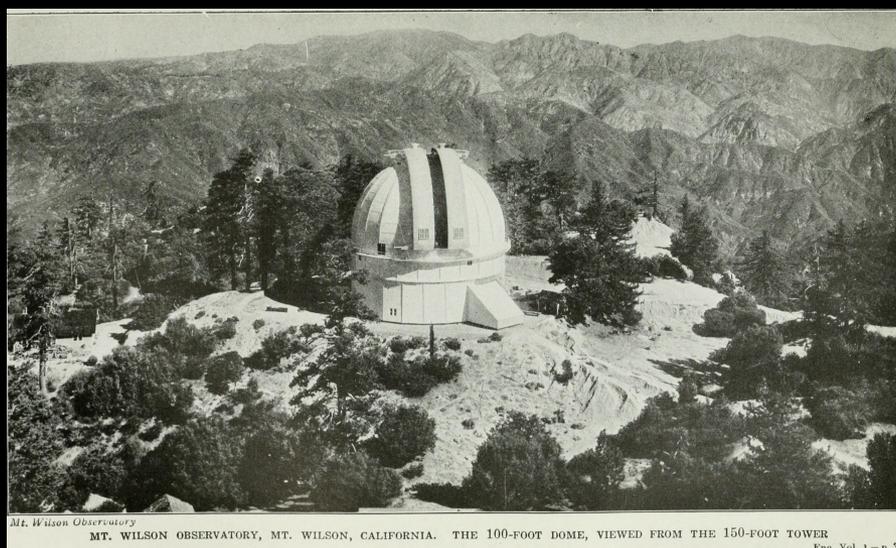
Margaret and Geoffrey Burbidge, Willy Fowler y
Fred Hoyle en 1971. © Don Clayton.

Sus estudios de espectros estelares sirvieron de base a la teoría “B² FH”, que explica de forma revolucionaria el origen de los elementos químicos y que recibió el nombre de quienes lo formularon: los Burbidge, William A. Fowler y Sir Fred Hoyle. Solo le dieron el Premio Nobel a Fowler.

“El Universo temprano hizo hidrógeno y helio, pero Burbidge, Burbidge, Fowler y Hoyle hicieron el resto.”

Acceso al Observatorio de Mount Wilson

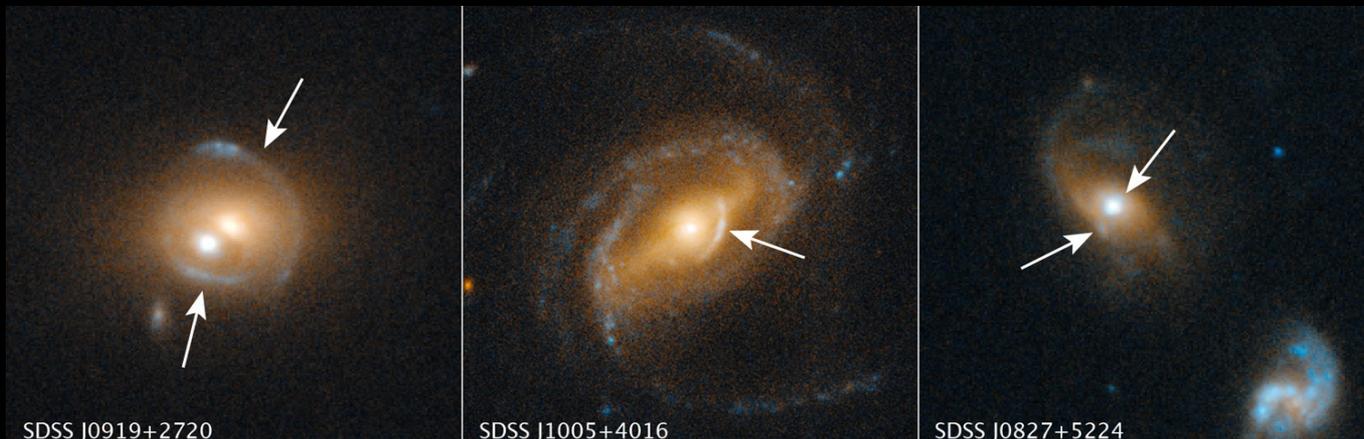
- Solicitó dos veces una beca posdoctoral para trabajar en los Observatorios Carnegie, que le rechazaron por ser mujer. Ella, astrónoma observacional, y su marido, físico teórico, se intercambiaron las solicitudes. En 1955, él consiguió la plaza en el Observatorio de Mount Wilson para que ella, que obtuvo un puesto teórico en CALTECH, pudiera acompañarle como asistente y hacer las observaciones.
- Ya siendo miembro de la UCSD, fue la **primera mujer en acceder a este Observatorio**.
- Pese a dirigir el RGO, por ser mujer **no le dieron el tradicional título honorífico de Astrónomo Real** asociado al cargo.
- En 1972 **rechazó el premio Annie J. Cannon de la American Astronomical Society (AAS)** porque solo se concede a mujeres. Se opuso a la discriminación positiva. Gracias a ella, se creó un comité permanente de la AAS para estudiar la situación de la mujer en Astronomía.



- Premio Warner de Astronomía en 1959 (conjuntamente con su marido).
- Presidenta de la AAS en 1976.
- Presidenta de la Sociedad Astronómica Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS) en 1983.
- **Medalla de la Ciencia del Premio Mundial Albert Einstein en 1988.**
- Medalla de Oro de la Royal Astronomical Society en 2005 (conjuntamente con su marido).

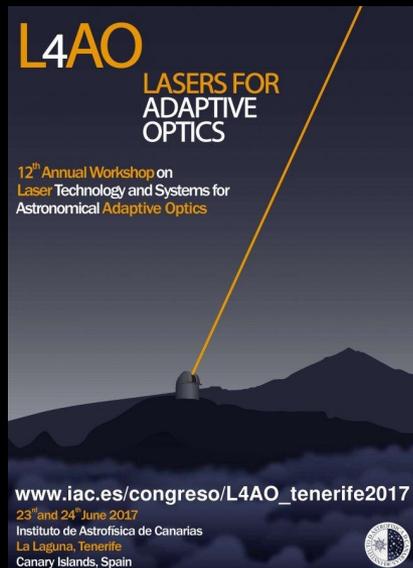
Asociación de cuásares con galaxias

"Si tuviera que empezar de nuevo, lo haría **en sentido contrario** a como inicié mi carrera. Partiría de **los cuásares**. Ya que me ha preocupado el problema de si existe una posible asociación entre cuásares y galaxias, le dedicaría a esto una gran esfuerzo observacional. Luego creo que retomaría el problema de la **formación estelar**, que es muy interesante y sobre el que sabemos muy poco. De paso, como astrónoma observacional, **dejaría de trabajar en el ultravioleta y el óptico para irme a otros rangos del espectro electromagnético, como el infrarrojo y los rayos X**. Es cierto que cuando se trabaja en lo que yo estoy haciendo actualmente, en el campo de los cuásares, hay que estar familiarizado con el infrarrojo. Pero el ultravioleta lejano y los rayos X son también regiones interesantes en las que, por el momento, no tengo la formación necesaria para investigar. Eses es el tipo de trabajo que haría si fuera a empezar de nuevo, teniendo en cuenta que recibí una buena formación universitaria en espectroscopía óptica y del ultravioleta cercano."



© NASA, ESA, and F. Courbin (EPFL, Switzerland)

Alta resolución



"Creo que me adentraría también en el campo de la **Óptica Adaptativa**, es decir, la obtención de las imágenes de más alta resolución posible con grandes telescopios, eliminando los efectos de las perturbaciones atmosféricas, y alcanzando la mayor resolución de que es capaz un telescopio de grandes dimensiones. Dado que me interesa también la espectroscopía en todas las longitudes de onda y las imágenes de muy alta resolución, trabajaría también en ese campo y estudiaría **las galaxias más distantes** que se puedan detectar para ver qué se puede aprender sobre **su morfología y su radiación**."

No sé si **en una segunda reencarnación**, en la que comenzase una nueva tesis doctoral, tendría la capacidad necesaria para cubrir todo ese ambicioso programa, pero eso es lo que me gustaría hacer."

Grande para la Astronomía

"La construcción de un telescopio de 8 m en la isla de La Palma afectaría al futuro de la Astronomía de una forma muy positiva. Sería grande para la Astronomía a nivel mundial que se construyese este telescopio. He seguido el desarrollo del telescopio de 10 m instalado en Mauna Kea, Hawái, desde que entró en operación. Los telescopios de esta clase de 8 y 10 m y mayores aumentarían al máximo su rendimiento localizados en emplazamientos excelentes. Dado que hay una gran cantidad de personal de instrumentación vinculado a este tipo de telescopios, creo que **el Observatorio del Roque de los Muchachos se hará incluso más famoso de lo que es actualmente**. Será un sitio prominente para la Astronomía a nivel mundial y todos querrán tener la oportunidad de utilizar este telescopio."



Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Palma) © IAC. Foto: D. López.

El síndrome de Margaret



En 1988 no se había detectado todavía el nivel de anisotropías, y tenían sentido sus palabras. El resultado del nivel de anisotropía lo anunció COBE en 1992. Poco después, vino la confirmación del Experimento Tenerife. Ese nivel de anisotropía se convirtió en otra de las pruebas más importantes de la existencia de materia oscura.

ENTREVISTA en Congreso-Escuela para Jóvenes Astrofísicos "Evolutionary Phenomena in Galaxies" (Fenómenos evolutivos en Galaxias), Puerto de la Cruz, 1988.

Cómo se forman las galaxias fue la gran cuestión a la que todos intentaron dar respuesta en esta reunión científica. Pero, sobre todo, en qué período después del origen del Universo, suponiendo que sigue uno de los modelos más aceptados (Big Bang, Universo Inflacionario), se pudieron formar las galaxias en un medio presumiblemente difuso. "Cuando vamos hacia atrás en el tiempo sólo podemos llegar al momento cuando la radiación y la materia se unieron completamente y esto lo vemos como radiación del fondo cósmico. Experimentos como el del Observatorio del Teide para medir las posibles anisotropías a gran escala de esta radiación del CMB (colaboración entre el Observatorio de Jodrell Bank, del Reino Unido, y el IAC) son muy interesantes y deberían hacerse desde el espacio. Durante una década, los astrónomos se han preguntado cómo se pudieron formar las galaxias a partir de un fondo tan uniforme. El fondo de rayos X era realmente pequeño también. Recuerdo cuando mi marido y un colega escribieron un artículo que decía '¿Puede la distribución irregular de materia reconciliarse con la regular radiación de fondo?' Tenemos que postular que existieron fluctuaciones muy tempranas, que ahora no observamos porque retrocedemos o miramos hacia esta pared de radiación. Deberíamos observar fluctuaciones en el fondo de radiación. Si no observamos en ningún momento la fluctuación, tendremos que retroceder y revisar la teoría de nuevo."

El telescopio Isaac Newton

Burbidge recuerda lo difíciles que fueron sus tiempos en el RGO, entonces en Herstmonceux, cuando era directora: "Cuando sugerí que se **trasladara el Telescopio Isaac Newton (INT)** a un lugar con mejores condiciones astronómicas, quizá Tenerife, **en las Islas Canarias, los responsables de la agencia científica de entonces, la Science Research Council, se enojaron conmigo.** Pero ahora me alegra ver que, diez años más tarde de que yo lo propusiera, se haya trasladado aquí, aunque en el momento que sugerí su traslado, sólo existía el Observatorio del Teide."

El telescopio Isaac Newton, de 2,5 m de diámetro, del ING, está operativo en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma, desde 1980 y es uno de los telescopios que más ha contribuido a los últimos avances de la Astrofísica.



El INT en el primer RGO en Herstmonceux.

Foto: L. Smits.



Observatorio del Roque de los Muchachos con el INT en el © IAC. Foto: D. López.

ENTREVISTA

MARGARET BURBIDGE: "Los cuásares no están tan lejos como se pensaba"

La Carta de Baltimore de 1992 sobre el papel que deben desempeñar las mujeres en Astronomía comienza con un antiguo proverbio chino que dice **Women hold up half the sky**, una máxima que Margaret Burbidge recuerda haber oído por primera vez en una visita a los observatorios astronómicos de la República Popular China. En aquella ocasión, como en la reunión internacional "Key Problems in Astronomy", fue la única mujer astrónomo de los "maestros" invitados.

¡Las mujeres sostienen la mitad del cielo!

CONCLUSIONES

Los intereses científicos de todo el grupo se centraron en **Cosmología, Galaxias y Astrofísica de Altas Energías**.
Los problemas no eran muy difíciles de reconocer.

ACIERTOS

- NOVIKOV: **las ondas gravitatorias** 20 años antes de su detección.
- REES: necesarias **simulaciones con superordenadores**.
- M. BURBIDGE: **misiones espaciales para estudiar el CMB y necesidad de la Óptica Adaptativa**.

ERRORES (*"prisioneros de sus propias convicciones"*)

- SANDAGE: el valor de **la constante de Hubble de 50** (4 años antes del descubrimiento de la **aceleración del Universo** debida a la **energía oscura**) y que la materia oscura estaba constituida por rocas (MACHOS), materia bariónica.
- M. y G. BURBIDGE: pensaban que **los cuásares** no estaban tan lejos como se creía.

Nadie iba a decir que "no" a un telescopio grande en Canarias.

- LYNDEN-BELL: **cada gran telescopio debía especializarse**.

TEMAS AUSENTES

- **Exoplanetas.**
- **Formación del Sistema Solar.**
- **Asteroides.**
- **Física Solar.**
- ...



Impresión artística de un exoplaneta y su estrella. © IAC. Autor: G. Pérez

CONCLUSIONES Malcolm Longair

**“Estamos estudiando un vasto e intrincado rompecabezas en el que cada pieza puede influir fuertemente en los demás.”
(M. LONGAIR)**

En resumen y según el informe de Malcolm Longair, a lo largo de estas sesiones se plantearon casi un centenar de «problemas clave», entre los que se encontraban las 23 cuestiones sugeridas el primer día de reunión por Allan Sandage (ver relación adjunta). «*Estamos estudiando un vasto e intrincado rompecabezas*» señaló Longair «en el que cada pieza puede influir fuertemente en las demás.»

También tuvo cabida en esta reunión lo que Malcolm Longair denominó «*astrofísica exótica*». Bajo esta clasificación se encontrarían las hipotéticas «máquinas del tiempo», defendidas por Igor Novikov, así como las interpretaciones heterodoxas de las asociaciones cúasares-galaxias y los corrimientos al rojo no cosmológicos que planteó Geoffrey Burbidge, un firme defensor del modelo del Estado Cuasi-Estacionario del Universo (alternativa opuesta a la teoría del Big Bang).

Estos llamados «key problems» se agrupan en tres grandes campos de investigación: Galaxias (incluida la nuestra), Astrofísica extragaláctica (junto a la Astrofísica de alta energía) y Cosmología. El primero comprende problemas relacionados con las propiedades globales del Universo: su tamaño, edad y contenido (en especial, la composición química, de la que habló en esta reunión Bernard Pagel). En torno al tamaño y a la edad, parámetros que determinan la llamada «constante de Hubble», los astrónomos intentan medirlos con un margen de error del 10%, y no del 30%, como sucede en la actualidad. La materia oscura es otro de los enigmas «clave». Hubert Reeves dijo que constituía «el objeto de búsqueda de los

astrónomos de finales del siglo XX del mismo modo que los astrónomos del siglo XIX buscaban el éter.»

El segundo grupo de problemas planteados por los participantes se refiere a las propiedades (morfología y origen de la fuente de energía) de los núcleos de las galaxias activas (AGN en sus siglas en inglés). Éstos engloban tanto a las galaxias más cercanas como a los cúasares más alejados (analizados estos últimos por Margaret Burbidge). Según los astrónomos, los AGN constituyen auténticas «balizas» para reconstruir la historia del Universo.

El tercer bloque de discusión fueron los agujeros negros, tanto los primordiales (cuya existencia es aún muy especulativa), como los que se encuentran en sistemas estelares y en los núcleos de galaxias, tal y como proponen Martin Rees y Donald Lynden-Bell. Se destacó la «convicción casi del 100%» de la existencia de agujeros negros de tipo estelar y de que el sistema V404, de la Constelación del Cisne (descubierto por un investigador del IAC con el telescopio «William Herschel»), sigue siendo uno de los mejores candidatos a agujero negro, tal y como señaló en esta reunión Rashid Sunyaev.

Por último, Malcolm Longair destacó la importancia «clave» de disponer de nuevos telescopios para observar en todas las bandas del espectro electromagnético y añadió que los grandes telescopios de más de 8 metros serán en el futuro las herramientas de trabajo habituales. «*Entramos*» dijo «en la era de los grandes telescopios ópticos-infrarrojos», razón por la que señaló la necesidad de apoyar fuertemente el proyecto de un telescopio de estas características para Canarias.

**“La materia oscura constituye el objeto de búsqueda de los astrónomos de finales del siglo XX del mismo modo que los astrónomos del siglo XIX buscaban el éter.”
(M. BURBIDGE)**

“Los AGN constituyen auténticas ‘balizas’ para reconstruir la historia del Universo.”

**“Entramos en la era de los grandes telescopios ópticos-infrarrojos.”
(M. LONGAIR)**

23 Key Problems in ASTRONOMY

Entender la Secuencia de Hubble (SH)

- 1.- *¿Es debida a la evolución o a las condiciones iniciales?*
- 2.- *Parámetros que varían y que no varían a lo largo de la SH*
- 3.- *Origen de la anchura de la SH*
- 4.- *¿Es la estructura espiral completamente cinemática?*
- 5.- *¿Es la tasa de formación estelar inicial el principal causante?*
- 6.- *Cosmogonía de la relación densidad-morfología*
- 7.- *Papel de los "mergers" (fusiones de galaxias)*
- 8.- *Origen y edad de los granos de polvo*

Evolución estelar y la Galaxia

- 9.- *Edad, cinemática y abundancias químicas de todos los componentes galácticos.*
- 10.- *Cosmogonía de sus distribuciones.*
- 11.- *La secuencia de sucesos (aparición de la Galaxia temprana)*
- 12.- *Relación edad-metalicidad en diferentes posiciones galácticas*
- 13.- *La función de masa desde estrellas a rocas. ¿Hay rocas entre las estrellas?*
- 14.- *Conteos estelares: mapas del halo y disco grueso*

1. Las galaxias no evolucionan a lo largo de la secuencia de Hubble, pero sí han evolucionado durante toda la época cosmológica. La posición de una galaxia en la SH se debe a sus condiciones iniciales más su evolución individual (mergers, absorción de gas...).
2. Este no es un problema, por lo menos no se puede separar de problema 1.
3. Es cierto que hay un tipo de secuencia principal en las galaxias o, mejor dicho, hay dos: la "secuencia roja" de galaxias sin formación estelar y una "nube azul" de galaxias con formación estelar, con el "valle verde" entre los dos grupos. Las respuestas a los "problemas" 1, 2, y 3, no se separan. Estamos aprendiendo mucho sobre la formación y la evolución de las galaxias, aplicando modelos cosmológicos cada vez más potentes y realistas, modificados para tener en cuenta la retroalimentación tanto de formación estelar como de los agujeros negros supermasivos centrales, y con observaciones fotométricas y espectroscópicas más completas.
4. Podemos decir que la estructura espiral es casi totalmente cinemática (una de mis líneas de investigación).
5. (No entiendo bien este punto,es la tasa de formación estelar el causante principal de qué? Si quiere decir el causante principal de los brazos, la respuesta es "no".
6. y 7. Se engloban en la respuesta de problemas 1, 2, y 3. Las simulaciones (que incluyen la materia oscura) más las observaciones nos están dando respuestas poco a poco a todos.
7. El papel de los mergers también se incluye .
8. Este problema está en vías de resolverse. El polvo interestelar se produce en las atmósferas de las estrellas frías, en las estrellas de la rama horizontal asintótica en el diagrama Hertzsprung-Russell y en supernovas. Medidas de satélites en el infrarrojo nos están dando las propiedades del polvo.
9. Mucho progreso en este punto. Los satélites Hipparcos y Gaia nos han dado un base para obtener buenos parámetros físicos de una gran cantidad de estrellas en diferentes partes estructurales de la Galaxia.
10. Mucho progreso en este punto, propiedades de los discos grueso y fino, de la barra y del bulbo, pero todavía bastantes controversias.
11. La complejidad de obtener un historial válido, con todos los mergers menores, y los flujos de gas para dentro y para fuera hace la historia muy exigente, pero hay bastante progreso (Carme Gallart, por ejemplo).
12. Progreso, pero a veces este tipo de problemas tiene mejor solución en otras galaxias, (estar dentro del plano de la Galaxia hace las medidas más difíciles).
13. No tenemos una buena teoría de la función de masas. Es un tema relevante hoy.
14. Esto es la tarea de Gaia.

(JOHN E. BECKMAN)

23 Key Problems in ASTRONOMY

El Universo. Cosmología práctica

15.- ¿Es real la expansión?

15a.- El test de Tolman. Brillo superficial dependiente de $(1+z)^4$

15b.- Retraso temporal con supernovas $t(z) = t(0) (1+z)$

15c.- Temperatura del fondo de microondas $T(z) = T(0)(1+z)$

16.- Evolución en tiempos pasados (galaxias primigenias)

17.- La escala de distancias

17a.- Calibración de todos los indicadores

17b.- Problemas de sesgo de todos los indicadores

17c.- ¿Por qué algunos métodos son erróneos?

18.- $q(0)$

19.- Explicar el exceso en conteos $N(m)$

20.- Naturaleza de la materia oscura: Omega

21.- ¿Hay desviaciones significativas de velocidad, aparte de la pura expansión cosmológica?

22.- El medio intergaláctico (¿gas, polvo y rocas entre las galaxias?)

23.- Tiempo de formación de la estructura a gran escala

COSMOLOGÍA:

15a. **Test de Tolman.** En términos generales se puede medir el decrecimiento de brillo superficial de objetos, como galaxias en proporción a $1/(1+z)^4$, con lo cual como prueba de una expansión verdadera del Universo ha servido. Pero no es muy cuantificable porque las galaxias tenían brillo superficial mayor en épocas de z grande, y la prueba supone brillo superficial invariante.

15b. No confirmado como tal.

15c. Varias medidas con pruebas cualitativas, pero no muy precisas.

16. Esto no es un problema específico. Cada vez llegamos más hacia atrás en el tiempo, con lo cual sabemos más de las galaxias en el Universo más temprano.

17a. Resuelto en cuanto a las Cefeidas (Hubble) y las supernovas tipo I. Las otras pruebas se usan menos, pero dada el estado actual sobre la constante de Hubble pueden renovarse su uso. De todos modos, el problema visto por Sandage se ha resuelto.

17b Este problema preocupó a Sandage mucho porque el usó los supuestos sesgos para llegar a su valor de 50 para H_0 , pero ahora sabemos que los sesgos están bien entendidos. Eso era un problema falso.

17c. Tampoco era un problema real. Siempre hay dificultades con todos los métodos.

18. Sabemos que $q(0)$ se relaciona con omega, con lo cual es realmente el mismo problema y no otro.

19. Los excesos de conteos $N(m)$ tienen una explicación natural en un universo tipo Big Bang. Eso no ha sido un problema después de los años 70 del siglo pasado.

20. Este problema todavía no se ha solucionado. No sabemos en qué consiste la materia oscura. Sí sabemos el valor de omega, debido a las medidas de las fluctuaciones del fondo cósmico.

21. Este sí es un problema real. Ahora entendemos mucho más sobre las concentraciones de masa a gran escala en el Universo, con lo cual solemos interpretar las diferencias en velocidad de expansión como los efectos de la distribución de masa en gran escala.

22. Sabemos mucho sobre el medio intergaláctico. Por ejemplo, que la gran parte de su densidad se debe al gas supercaliente, que se ha detectado en rayos-X. Pero también sabemos que las rocas no son necesarias para cerrar el Universo.

23. Este problema está bastante resuelto por una combinación de observaciones y simulaciones.

(JOHN E. BECKMAN)



© IAC. Foto: M. Briganty

Profesores invitados del encuentro "Key Problems in Astronomy", visitando la sede central del IAC en La Laguna.



© IAC. Foto: M. Briganty

Participantes en el encuentro “Key Problems in Astronomy”, en el Aula del IAC, en La Laguna, durante la bienvenida por parte de Francisco Sánchez.



Profesores invitados del encuentro "Key Problems in Astronomy", visitando el Observatorio del Teide (Izaña, Tenerife).



© IAC

Profesores invitados del encuentro "Key Problems in Astronomy", visitando el Observatorio del Teide (Izaña, Tenerife).



Allan Sandage (a la izquierda) y Donald Lynden-Bell (a la derecha), saliendo de la Pirámide Solar Van der Raay, en el Observatorio del Teide (Izaña, Tenerife)



© IAC

Profesores invitados del encuentro "Key Problems in Astronomy", visitando el Telescopio William Herschel (WHT), en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Plama).



© IAC

Profesores invitados del encuentro "Key Problems in Astronomy", visitando el Telescopio William Herschel (WHT), en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Plama).

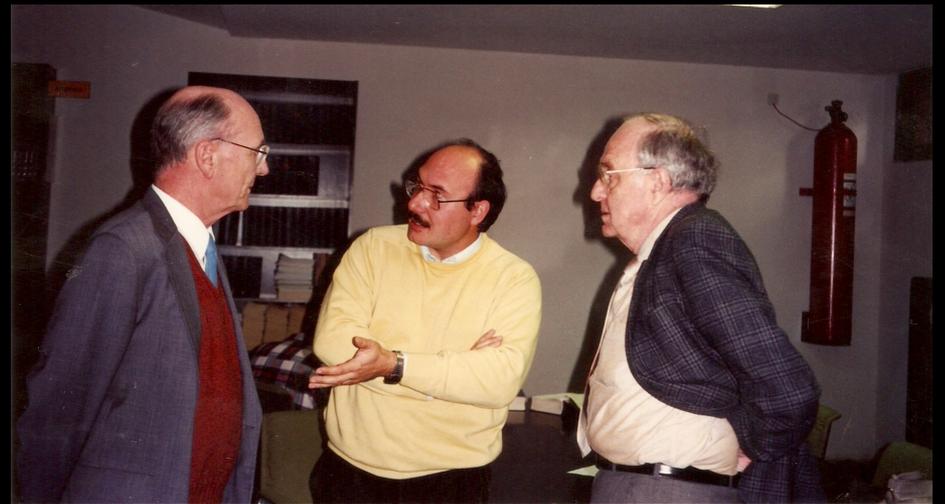
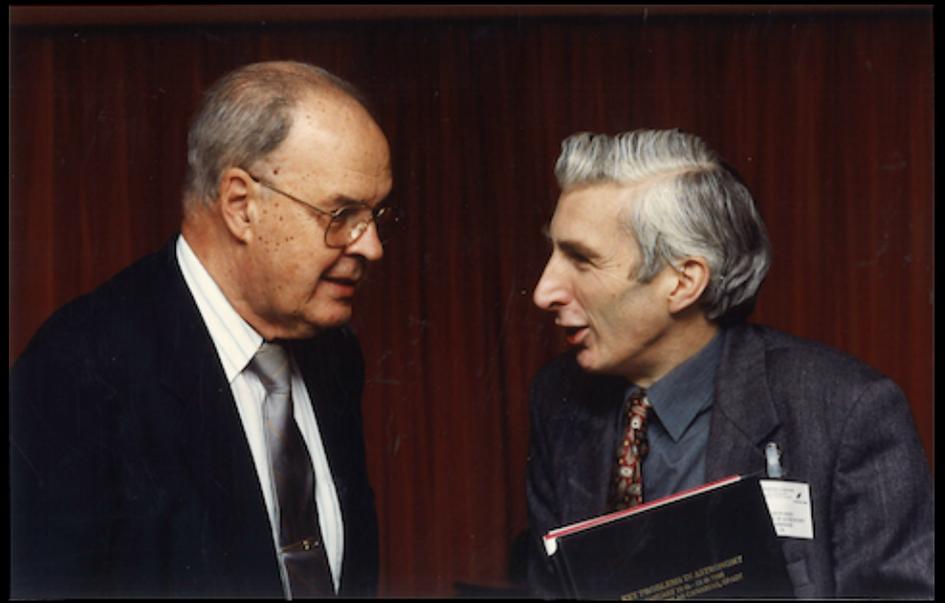


Profesores invitados del encuentro "Key Problems in Astronomy", en la sala de control del Telescopio William Herschel (WHT), en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Garafía, La Plama).



© IAC. Fotos: M. Briganty

Momentos del encuentro "Key Problems in Astronomy".



© IAC. Fotos: M. Briganty

Momentos del encuentro "Key Problems in Astronomy".

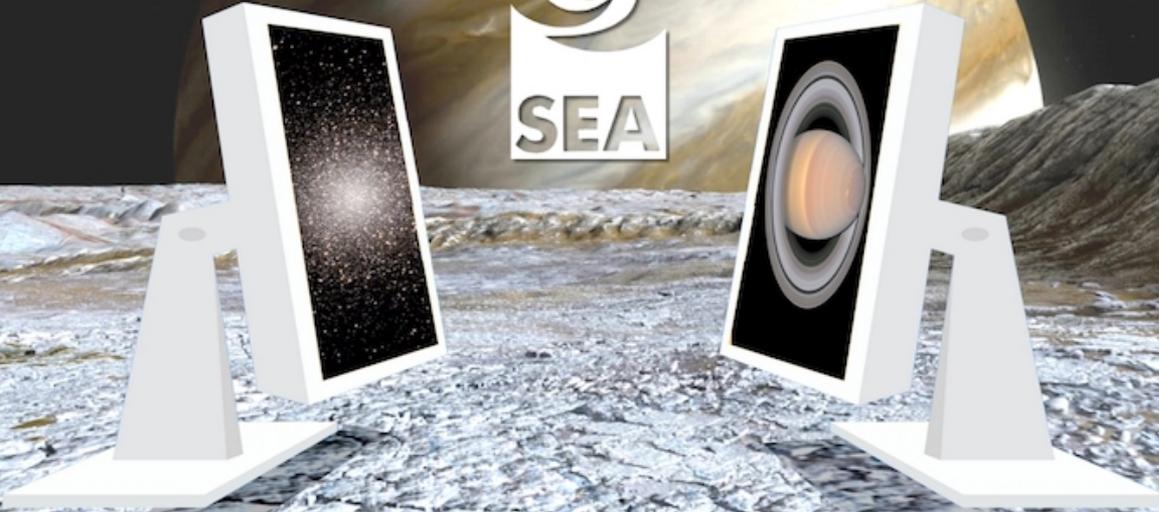


© IAC. Foto: M. Briganty

Participantes en el encuentro “Key Problems in Astronomy”, en la foto de grupo en Hotel Botánico (Puerto de la Cruz, Tenerife).

XIV.0 Reunión Científica

13-15 de JULIO de 2020



La mayor parte del contenido escrito de esta presentación forma parte del especial de la revista "IAC Noticias" sobre "Key Problems in Astronomy", elaborado principalmente por las siguientes personas:

Edición y redacción: **Carmen del Puerto.**

Transcripción y traducción inglés-español: **Begoña López Betancort.**

Traducción español-inglés: **Monica Murphy.**

Agradecimientos a:

John E. Beckman, José Alberto Rubiño

José Miguel Rodríguez Espinosa y Benjamín Montesinos.

cpv@iac.es

