



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

**SYNCHROTRON RADIATION,**

**A BASIS OF MODERN ASTROPHYSICS**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE POR EL

**ILMO. SR. D. RICHARD WIELEBINSKI**

GRANADA, 2006



Academia de Ciencias Matemáticas,  
Físico-Químicas y Naturales de Granada

**SYNCHROTRON RADIATION,  
A BASIS OF MODERN ASTROPHYS-  
ICS**

DISCURSO LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN  
COMO ACADÉMICO CORRESPONDIENTE POR EL

**ILMO. SR. D. RICHARD WIELEBINSKI**

GRANADA, 2006

**SYNCHROTRON  
RADIATION,  
A BASIS OF MODERN  
ASTROPHYSICS**

**SYNCHROTRON RADIATION,  
A BASIS OF MODERN ASTROPHYSICS**

**RICHARD WIELEBINSKI**

The classical case of a relativistic electron emitting in a magnetic field was treated by G.A.Schott in 1912 already. Synchrotron emission was detected in the new electron accelerators in the 1940s as blue light seen when the beam entered the Earth's magnetic field. This led to considerable activity in the studies of synchrotron emission; notably by J.Schwinger in the USA. The serendipitous discovery of cosmic radio waves by K.Jansky in 1932 at first had no explanation. Also the extremely intensive Solar radio waves, observed by war-time radar stations, defied explanation. Only in the late 1940s the connection between cosmic radio waves and synchrotron emission could be established. This was preceded by the discovery of magnetic fields in the Milky Way. The synchrotron emission requires such magnetic fields and is observable as polarized emission. The rapid growth of radio astronomy is directly a result of the fact that cosmic objects emit intense radio waves through the synchrotron emission process. The radio waves come not just from

nearby objects but from a huge variety of cosmic sources, many at the edge of the observable Universe. Radio galaxies are synchrotron sources emitting as a result of jets that are powered by active galactic nuclei interacting with the intergalactic medium. Supernovae leave remnants where the interaction of a magnetic field with the interstellar medium is obvious. The Milky Way is a giant synchrotron emitter. Quasars are often first identified as weak synchrotron radio sources before they are fixed in the distance by optical spectroscopy. In this lecture I will describe the most recent advances in our knowledge of the cosmic Universe, thanks to the synchrotron emission process.

Synchrotron radiation is the most important emission process in astrophysics, but it was a long and difficult way to make it acceptable to astronomers who were used to positional astronomy, stellar interiors and at most thermal emission from the interstellar medium. The detection of radio waves of extraterrestrial origin by K.Jansky in 1932 was widely publicized by the daily press but not taken up seriously by professional astronomers. The Bell Telephone Company engineer K.Jansky realized that the radio emission was connected in some way with the Milky Way. The next lone investigator, Grote Reber, followed up these early detections and started to investigate the radio emissions at different frequencies. Reber concluded that the observed radio emission could not be due to black-body (thermal) radiation from the interstellar medium. Reber also discovered that the maximum of the radio emission came from the direction of the constellation Sagittarius, some  $30^\circ$  away from

the then accepted centre of the Milky Way. Solar radio emission was discovered by war-time radar station operators in the 1940s who were surprised at the intensity of the radio waves. It became also clear that solar radio emission was highly variable, correlated with visible eruptions and with the solar cycle. All the observed radio emissions called for a new interpretation.

The classical theory of an electron emitting in a uniform magnetic field was treated by Schott in 1912 already. Synchrotron emission was detected in the new electron accelerators in the 1940s. The theory of synchrotron radiation was developed by J.Schwinger in the USA and a strong group of Soviet theoreticians. The theoretical explanation of the origin of the Solar radio emission was given by A.Unsöld who concluded that the steady radio emission of the Sun may be due to free-free (thermal) transitions in the solar corona and the chromosphere but the variable radio emission of the Sun must be non-thermal, some sort of 'plasma oscillation'. The radio emission of the Milky Way was to Unsöld of the same nature as the variable solar emissions. At this stage of observational progress 'radio stars', strongly emitting cosmic sources were discovered and it was suggested that this new population of celestial objects may be responsible for the cosmic radio emission. Theoretical considerations by H.Alfvén suggested that radio stars may be radio emission generated by electrons in magnetic fields, a suggestion that pointed to the presence of synchrotron radiation in cosmic sources. K.O.Kiepenheuer went into the details of possible scenarios, and concluded that radio stars are less likely to be a source of the 'back-

ground emission' but that interstellar space, when filled with magnetic fields, could generate the observed radio intensities. By 1950 the basic explanation was given and waited for observational confirmation. The understanding of polarization effects of synchrotron emission was paramount in the following development since it offered new ways of observing. The most concise reviews about synchrotron radiation in astrophysics are due to Viatli Ginzburg and A.G.Pacholczyk.

Magnetic fields have been detected in Solar sunspots by G.E.Hale in 1908 by observing the Zeeman splitting of optical spectral lines. Improved sensitivity allowed the detection of magnetic fields in 'magnetic' Ap stars using the same method. In 1949 optical polarization observations by W.A.Hiltner and J.S.Hall were published. In 1951 L.J.Davis & J.L.Greenstein developed an interpretation that suggested that the optical polarization was due to dust grains aligned by magnetic fields of the Milky Way. Thus one of the requirements for synchrotron radiation, the presence of cosmic magnetic fields, had been established.

The mysterious 'radio stars' were identified by J.Bolton in 1949 with such diverse cosmic objects as a historical supernova remnant (Crab nebula), a nearby galaxy (Centaurus A) and a distant galaxy with a jet (Virgo A). This step was very important, because it established the radio band as an important astronomical window. The Crab Nebula turned out to be the 'Rosetta stone' of astrophysics, leading to the establishment of the synchrotron theory as a basis of modern astrophysics.

Further observations in the northern sky discovered such intense radio sources as Cassiopea A (a supernova remnant) and Cygnus A (a radio galaxy). Sky surveys continued to be made giving us lists of 100s of sources, notably the Cambridge 3C survey and the surveys of B.Y.Mills in Australia. Observations of radio sources at different frequencies led to the determination of the spectral index that confirmed the synchrotron nature of these cosmic objects.

The Crab nebula played the crucial role in the progress of understanding the radio emission, a triumph of the synchrotron theory. I.Shklovskii suggested that the emission (optical and radio) of the Crab Nebula is due to the synchrotron process. This was motivated by observations of linear polarization of the Crab nebula optical emission made very early by Soviet astronomers. The search for the radio polarization was a logical consequence. After several negative attempts a detection of linear radio polarization at high radio frequencies was made in 1957. Another object that was important in the earliest days was Virgo A (M87). This is a peculiar galaxy with a jet and a very intense radio emission. G.R.Burbidge proceeded to interpret both the optical and radio emission to be a result of synchrotron radiation in strong magnetic fields. This object became the prototype of a 'radio galaxy' where due to an active galactic nucleus (AGN) intense radio (synchrotron) emission results in the outer lobes. To support this argument, the discovery of linear polarization in the radio galaxy Cygnus A in 1962 was most important. Further surveys of the polari-

zation of radio sources were made, indicating the presence of synchrotron emission everywhere.

In addition the diffuse Galactic emission, originally observed by Jansky and Reber, was studied indicating that it was not a superposition of individual discrete radio sources but extended 'background emission' (in fact a foreground emission) originating in the interstellar medium of the Milky Way. Due to the position of the Galactic centre at southern elevations (in fact nearly overhead in Sydney, Durban and Buenos Aires) a combination of surveys from both Northern and Southern observatories became important. At first these radio maps were made at low radio frequencies with moderate angular resolution. The spectrum of the diffuse radio emission also confirmed the emission to be due to synchrotron radiation. The detection of polarisation of diffuse Galactic emission proved to be more difficult. Many attempts were made but only after technical innovations were implemented by Wielebinski and Westerhout in 1962 the first unambiguous detection of the Galactic linear polarization was published. These observations showed that linear polarization was detectable all over the (northern) sky, hence telling us that magnetic fields and the synchrotron radiation process were most widely spread everywhere in the Milky Way. Further observations showed that polarized radio waves were rotated by the passage through the magneto-ionic medium (Faraday effect) in the ionosphere and in the Galactic interstellar medium. These observations added another method of studying the magnetic fields in the line of sight. They also pointed out that passage of the polarized radio waves through the

Galactic medium had to be corrected by multi-frequency observations. Since most radio sources are polarized (the only exception being thermal HII regions) they can be used to probe the magnetic fields between the source and the observer.

The origin of the observed magnetic fields has been unknown. Early work of Ludwig Biermann in 1950 suggested a ‘battery’ mechanism for the generation of magnetic fields. However the intensity of ‘battery’ fields was negligible. The development of the Dynamo theory by Parker, Krause, Steenbeck and others offered the possibility of field amplification by substantial factors. One of the requirements of the theory, the existence of ‘seed fields’, was missing. Recent work suggests that the early cosmic universe or plasma instabilities may provide the seed field necessary to account for the observed field strengths in cosmic radio sources, thus closing the loop in interpretation. In addition extensive magnetohydrodynamic simulations became possible showing the effects of magnetic fields on interstellar matter.

The majority of radio sources in the cosmic universe emit by the synchrotron process, especially at the lower radio frequencies in the metre and cm wavelength range. Most of the sources are linearly polarized to a degree of 1% to 75%. The highest polarization is observed in thin regions away from depolarizing thermal clouds (depolarization due to the Faraday effect). The observations of linear polarization can be used to determine the magnetic fields in the emitting objects. The increase in the angular resolution and better sensitivity of modern

radio telescopes helps in delineating the polarized regions. Circular polarization is much lower, 0.1% – 2%, seen in some special sources like BL lac objects, Active Galactic Nuclei, etc. Other forms of radio emission are thermal emission from hot gas clouds or from cold dust and maser emission in e.g. molecular clouds or pulsars. Synchrotron emission has been detected from the most distant quasars, implying the presence of magnetic fields in the early universe and making it the most important probe of cosmic evolution.

The data on the synchrotron radiation in astrophysics have gone through an enormous development. While at the beginning of observations in the 1950s angular resolution of the single dish radio telescopes was counted in degrees, we now have observations with the resolution of sub-arc seconds done with aperture synthesis arrays. Radio astronomers can compete in angular resolution with the Hubble Space Telescope. The technique of very long baseline interferometry (VLBI) has taken the angular resolution down to milli-arc seconds and is posed to improve this to micro-arc seconds. This allows radio astronomers to probe the inner nuclear regions of galaxies. The sensitivity of the radio observations, which started with the detection of sources of several JANSKY ( $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ watts meter}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ ), has through improvements of the receivers and telescopes now reached the sensitivity in the microJy range. The frequency coverage of radio telescopes now spans a huge spectral range from meter to sub-mm wavelengths. New radio telescopes like the ALMA and LOFAR (under construction) or the SKA project (planned) will improve the

angular resolution even further at the same time offering huge increase in sensitivity. We can expect more exciting observations as a result of these new instruments and the synchrotron emission process.

CONTESTACIÓN DEL  
ILMO. SR. D. EDUARDO BATTANER LÓPEZ

Excelentísimo Sr. Presidente,  
Excelentísimos e Ilustrísimos Sres. Académicos,  
Sras. y Sres.:

Es para mí una de las mayores satisfacciones de mi vida profesional presentar al Profesor Richard Wielebinski y hacer un brevísimo resumen de su excepcional mérito en la investigación astrofísica. Será un placer exquisito, y una alegría compartida por todos nosotros, el nombramiento de Académico Correspondiente de la Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada de este sabio Profesor.

El Profesor Richard Wielebinski nació en Pleszew (Polonia) en 1936. Su familia tuvo que abandonar su patria en 1939 al acabar la Segunda Guerra Mundial y erró por el mundo durante 10 años acabando en un campo alemán de Personas Desplazadas. Finalmente, esta migración incesante terminó cuando la familia se estableció definitivamente en Australia en 1949.

Por fin, Richard Wielebinski tuvo la oportunidad de asistir regularmente a la escuela en Hobart (Tasmania) en 1950. Aunque para él el inglés era una lengua aún desconocida, aprobó el examen para entrar en la Univer-



sidad de Tasmania, donde estudió “Ingeniero Eléctrico”, completando brillantemente sus estudios en 1957 y obteniendo el premio “Alan Burn” por el mejor resultado académico en toda la Facultad de Ingeniería. En 1958 continuó sus estudios de postgrado investigando los innovadores transistores para circuitos de interrupción y ganó el título de “Máster” de “Ciencia de la Ingeniería” por la tesis “The design of a logical computer” . En 1959, comenzó a trabajar como ingeniero para el Correo Australiano, en la construcción de una estación de transmisión de televisión en Monte Wellington, en Hobart. La construcción de la estación se terminó en 1960. Mientras estaba trabajando en el Correo Australiano obtuvo la “Schell Postgraduate Scholarship” lo que le permitió trasladarse a Cambridge (Inglaterra) para realizar su Ph. D.

En sus años en la Universidad de Tasmania, Richard Wielebinski conoció a Grote Reber, uno de los pioneros en la Radioastronomía, quien le recomendó que se uniera al grupo de Radioastronomía del Profesor Martin Ryle (Premio Nóbel en 1974) del “Cavendish Laboratory” en lugar de al Departamento de “Ingeniería Eléctrica”. Fue aceptado en el “Trinity College” en 1960. El tema de su tesis fue propuesto por Martin Ryle, sobre un tema astronómico, pero aprovechando su experiencia en ingeniería. Consistía en adaptar el radar de 7,5 metros de Würzburg para medidas de polarización. Esto requería abordar el problema de calibración, configuración del nuevo receptor y, finalmente, observación de fuentes astronómicas. Se sospechaba que la radiación sincrotrón era el mecanismo responsable del continuo de radio del

medio interestelar, y se esperaba que la radiación sincrotrón estuviera polarizada. Las medidas que realizó Richard Wielebinski demostraron por primera vez que el continuo de radio era de naturaleza sincrotrón, producido por electrones relativistas en el seno de un campo magnético. Lo más importante de esta tesis es que, desde entonces, se podía hablar de un campo magnético cósmico y, especialmente, se podía medir. En su tesis de “Doctor of Philosophy” con título “The polarization of galactic radio waves” se abrió una técnica de observación nueva y se podía medir el campo magnético no sólo en nuestra galaxia, sino en galaxias lejanas a decenas de millones de años luz. Hoy en día esta técnica sigue siendo la fuente casi exclusiva de determinación del campo magnético en estructuras galácticas, inter-, extra- y pre-galácticas. Fue una tesis doctoral de inimaginable trascendencia. Fue leída en 1963.

Ese mismo año fue “Lecturer” en Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Sidney, dedicándose a la enseñanza de Electrónica, Comunicación y Antenas, y a la investigación, enfocada a la calibración de la emisión galáctica, obteniendo su espectro en ondas de radio, lo que logró en el Observatorio “Fleurs” de la Universidad de Sidney. Llevó a cabo observaciones con el radiotelescopio “Parkes”, obteniendo un cartografiado del cielo a una longitud de onda de 150 Mhz. Para ello tuvo que realizar inventos técnicos en la instrumentación.

En 1968 se descubrieron los púlsares. Para estudiarlos se construyó un equipo especial que permitió la observación en Australia de estos nuevos y extraños ob-

jetos astronómicos. Con el radiotelescopio “Molonglo” descubrió muchos más púlsares y se pudo determinar que estos objetos eran galácticos. Hoy están perfectamente identificados como estrellas de neutrones. Gracias a estos descubrimientos fue nombrado “Senior Lecturer”.

En 1966 fue Profesor Invitado en la Universidad de Bonn y en 1969 recibió la invitación a pertenecer a la “Max-Planck-Gesellschaft”, como miembro científico y como Director del “Max-Planck-Institut für Radioastronomie” (MPIfR) en Bonn. Estaban construyendo un gigantesco radiotelescopio de 100 m de diámetro, con antena móvil, y precisaban un científico que se responsabilizara de él, especialmente de la instrumentación. Se le ofreció el cargo y un equipo de investigación. Un gran grupo de ingenieros y astrónomos trabajaron conjuntamente e hicieron de este radiotelescopio de Effelsberg el mayor telescopio en observación del continuo centimétrico polarizado, y lo sigue siendo en la actualidad. Lo que hoy sabemos del campo magnético cósmico lo sabemos y lo seguimos sabiendo en gran parte gracias a los datos de este venerable instrumento, cuya fotografía se reproduce en este cuaderno.

Como investigador de la “Max-Planck-Gesellschaft” no estaba autorizado a dirigir tesis doctorales, pero en 1971 fue nombrado Profesor Honorario de la Universidad de Bonn, lo que le permitió la supervisión de estudiantes PhD. Y supervisó, en efecto, más de 70 tesis doctorales, cifra ésta insólita, pero en correspondencia con el número de trabajos publicados, del orden de 500, unos 250 en revistas con *referee*. Pero más que su

número asombra su repercusión en la Astronomía y el gran valor de sus artículos de Revisión, como guía para todos los investigadores en este campo.

Desde entonces el MPIfA ha sido una institución de vanguardia en la observación y el estudio del medio interestelar y de los púlsares. A Richard Wielebinski hay que reconocerle la primera observación de los púlsares en ondas milimétricas. Su contribución al conocimiento de los púlsares de milisegundos y su iniciativa para el establecimiento de la “European Pulsar Network” le valieron la concesión del premio “Descartes” en 1995. Indiscutible es el liderazgo de su grupo de investigación en la determinación de la morfología del campo magnético en las galaxias próximas, incluida la nuestra. Ha habido que ir introduciendo desarrollos instrumentales y diseño de nuevos equipos y paquetes informáticos, por ejemplo para la adaptación a la interferometría con polarización combinando los datos de una antena con otras para ganar resolución espacial. Desde hace tiempo, quiere demostrar, y esa será una de sus grandes contribuciones, que el campo magnético no es una magnitud pasiva, interesante porque nos permite obtener otra fuente de información sobre las galaxias, sino que es una magnitud activa, dinámicamente capaz de modelar la estructura galáctica.

Tuvo una participación muy activa en la creación del Instituto de Radioastronomía milimétrica (IRAM), institución española, francesa y alemana que instaló en la falda del Veleta el radiotelescopio de ondas milimétricas que sigue siendo el de mayor rendimiento del mundo en su longitud de onda. Richard Wielebinski ha contri-

buido de forma notable a la interpretación de las medidas del IRAM, que proporciona datos de monóxido de carbono, también de otras moléculas y de polvo en el medio interestelar de las galaxias. España, y de forma particular Granada, tiene el privilegio de albergar un instrumento así. Igualmente fue promotor del telescopio Heinrich Hertz en Mont Graham en Arizona.

Ha merecido un gran número de distinciones honoríficas, siendo las más destacables:

Miembro honorífico de de la Academia Polaca de Ciencias, Doctor honorario de Ciencias de la Universidad Nicolás Copérnico de Torun (Polonia), Premio de Investigación Max Planck, Premio Copérnico de la Academia Polaca Umiejentnosci, Profesor invitado en la Universidad de Buenos Aires, y Profesor invitado de investigación de la Academia China de Ciencias en Beijing.

Ha sido durante 14 años Director Ejecutivo del Max Planck Institut de Radioastronomie en Bonn, hasta su jubilación en 2004. Desde entonces es Director Emérito, y en investigación sigue activo, y mucho más activo que nunca.

Los astrofísicos, y particularmente los que hemos trabajado en la teoría del campo magnético interestelar estamos agradecidos profundamente al Profesor Richard Wielebinski, pionero y actualmente destacado investigador en su determinación observacional, a todo el equipo que ha formado, hoy con grandes especialistas absolutamente reconocidos, y al MPIfR, todo un Instituto Max-

Planck erigido en torno a su creatividad científica. Él nos ha abierto toda una ventana de observación del Cosmos y nos ha revelado la belleza de un medio ionizado, anisótropo, turbulento y magnéticamente congelado.

Será un honor recibir al Profesor Richard Wielebinski entre nosotros. Quiero pronunciar esa sencilla y entrañable palabra que, a pesar de uso cotidiano, no ha perdido nada de su intensa significación: Gracias.

CLAUSURA DEL  
EXCMO. SR. D. GERARDO PARDO SÁNCHEZ,  
PRESIDENTE DE LA ACADEMIA

Ilustres autoridades, compañeros Académicos, Señoras y Señores.

“Séneca decía que en la mar no importa la dirección del viento, si se sabe el rumbo”. En este sentido la Academia de Ciencias quiere dejar claro que su rumbo es darle visibilidad social al mundo de la Ciencia. Precisamente hoy nos cabe el placer y el honor de incorporar como Académico al Dr. Richard Wielebinski que durante tantos años, como Director del Max Planck (en su Instituto de Radioastronomía), ayudó a dar visibilidad científica a la Astrofísica. El Profesor Battaner, Catedrático de Astrofísica, Académico y primer becario de Granada del mismo Instituto, por supuesto hace muchos años, ha sido su valedor. Su personal y magnífica defensa eleva, si cabe, el acierto de la propuesta como académico de un científico tan notable como el Dr. Wielebinski.

[A modo de defensa de la Investigación básica y en homenaje científico a Planck](#)

*Las constantes universales.* Planck se involucró en la fórmula de la radiación térmica por dos serios argumentos. Uno, intentar resolver un grave problema interpretativo de la física clásica, la radiación térmica. Y otro, su profunda convicción de la existencia de al menos dos “constantes universales ineludibles”, relacionadas con el mundo microscópico. La constante  $k$  que aparece en la interpretación cinética de la energía molecular y la constante  $h$  que introduce Planck en la interpretación de la radiación térmica. La ausencia de la catástrofe del ultravioleta, es decir, la inconsistencia de la Física clásica, la explicó Planck con su famosa. Esta “ecuación puente” sienta las bases de la física cuántica y es una de las ecuaciones

importantes en la interpretación del Universo. La ecuación relaciona el mundo microscópico discreto de las partículas, con el macroscópico y continuo de las ondas. Algunos divulgadores de la Ciencia creen que el mérito de Planck sólo consistió en la conversión de una función creciente en otra que pasaba por un máximo y después decrecía con la frecuencia. Hoy se debe considerar que obtuvo esta importante ecuación como consecuencia de su profundo conocimiento de las bases de la Ciencia, en particular sobre el papel de las constantes universales. ¿Cómo justificar que no sabía lo que hacía, quien obtuvo las mejores estimaciones en su época del número de Avogadro ( $N_0 = 6.175 \cdot 10^{23}$  molec./mol) y de la carga de un ión monovalente ( $e = 1.56 \cdot 10^{19}$  C)?.

*Las unidades naturales.* Por si no fuese suficiente la argumentación anterior, cabe citar que Planck combinó las constantes universales  $h$ ,  $G$  y  $c$ , obteniendo de forma independiente “valores de referencia” para el tiempo, la longitud y la masa-energía.

A determinados científicos les sorprende que estas “unidades naturales” jueguen un papel tan relevante en Cosmología un siglo después de introducirlas. Pero, si se hace la unidad de masa-energía igual a la energía térmica ( $kT$ ) se obtienen temperaturas enormes, como las que existirían en el universo primitivo.

En este solemne Acto, la Academia de Ciencias pretende destacar dos decisiones internacionales científicamente relevantes y relacionadas. Una tiene que ver con la “salvación” del observatorio Hubble, que en la década de su lanzamiento en 1990 ya suministró hallazgos prodigiosos para la Ciencia. Entre los numerosos descubrimientos se citan los relacionados con lejanas supernovas, cuerpos espaciales fuera del sistema solar, etc. La otra decisión internacional ha sido la concesión del premio Nobel de Física 2006 a los físicos estadounidenses Mather y Smoot. En reconocimiento del papel relevante que

su análisis de las fotos del Universo primitivo, obtenidas con el Hubble, han supuesto para el “modelo estándar” del Universo. De ellas se ha obtenido la anisotropía de la radiación cósmica de fondo y su distribución de tipo cuerpo negro. La NASA recogió afortunadamente las “críticas” del mundo científico a sus prioridades y decidió salvar el Hubble, aprobando el envío en el año 2008 de 7 astronautas para lograr su recuperación.

Alonso Finn solía decir que es necesario desarrollar la “capacidad de observación y de análisis” en la Sociedad, además de estimular también su “espíritu crítico”. En este sentido, la Academia de Ciencias anima a la Universidad a mejorar, mediante el debate, la integración universitaria en Europa. En principio, someto a su consideración la preocupación de la Academia por la disminución de los estudios básicos de Ciencias y Humanidades en un 20% y el simultáneo aumento de un 30% en los estudios profesionales. El punto de vista de los académicos se basa en la alta consideración que merecen las aportaciones básicas de Planck y de otros eminentes científicos. Estas aportaciones han sido fuente reciente y a lo largo de la historia, de decisivas ventajas culturales y tecnológicas. La formación científica y humana ha sido también primordial para crear sociedades libres y responsables. En síntesis, parece esencial que la formación básica universitaria no sea sustituida por la profesional. En todo caso, ambas deberían ser potenciadas para estar en sintonía con la modernidad que conlleva un “desarrollo sostenible en el futuro y solidario con el presente”.  
Gracias.