R&V
6310

# REVISTA DE LA ACADEMIA CANARIA DE CIENCIAS

Folia Canariensis Academiae Scientiarum

Volumen VI, Núms. 2-3-4 (1994)

MCZ
LIBRARY
FEB 14 2013
HARVARD
UNIVERSITY

# REVISTA
# DE LA ACADEMIA
# CANARIA DE CIENCIAS

Sección
## FISICA

Sección
## QUIMICA

Sección
## BIOLOGÍA

Folia Canariensis Academiae Scientiarum

Volumen VI - Núms. 2-3-4 (1994)

# REVISTA DE LA ACADEMIA CANARIA DE CIENCIAS

**Folia Canariensis Academiae Scientiarum**

**Director - Editor**
Nácere Hayek Calil

**Secretario**
José Bretón Funes

**Comité Editorial**
Francisco Sánchez Martínez
Francisco García Montelongo
José Manuel Méndez Pérez
Juan José Bacallado Aránega

Publica: **Academia Canaria de Ciencias**,
con la colaboración de
**Gobierno Autónomo Canario**,
**Cabildo Insular de Tenerife** y
**CajaCanarias.**

ISSN: 1130-4723 Depósito Legal: 212-1990

Imprime: **Grafican, S. L.**
Graciliano Afonso, nº. 3 - Tfno. 22 77 33
Santa Cruz de Tenerife

# PRESENTACION

En razón al conjunto de artículos aceptados en este período, hemos desglosado el presente volumen VI en dos fascículos numerados de la manera siguiente: Núm. 1 - MATEMATICAS y Núms. 2-3-4 - FISICA, QUIMICA y BIOLOGIA.

En el fascículo núm. 1 de MATEMATICAS, y junto a los artículos de investigación en la especialidad, se integran dos discursos de ingreso de Académicos Correspondientes de esa Sección, nombrados en Diciembre de 1994, así como las respectivas presentaciones de los mismos a cargo de Académicos Numerarios. Asímismo, entre los trabajos que corresponden al fascículo de FISICA, QUIMICA y BIOLOGIA figuran también algunos relativos a esas áreas aunque encajados, por su naturaleza, en la Sección especialmente destinada a HISTORIA Y FILOSOFIA DE LA CIENCIA.

Como siempre, un texto único referido al apartado VIDA ACADEMICA, se encuentra en ambos fascículos.

Una vez más, deseamos expresar nuestro agradecimiento a los autores que nos han enviado sus trabajos y a las corporaciones e instituciones que hacen posible la publicación de esta Revista, en especial, al Cabildo Insular de Tenerife, Caja General de Ahorros de Canarias y Gobierno Autónomo Canario.

El Director

Nácere Hayek

SECCIÓN

# FÍSICA

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 9-22 (1994)

# Propiedades electrónicas y estructurales del *GaAs* y el *ZnSe*

M. González-Díaz y P. Rodríguez-Hernández

Departamento de Física Fundamental y Experimental.

Universidad de La Laguna. E-38204 La Laguna. Tenerife. España.

**Abstract**

We present an *ab initio* pseudopotential calculation within the local density aproximation of the electronic structure and the full set of elastic constants of *GaAs* and *ZnSe*.We compare with the results established experimentally, to determinate the importance of the *core corrections* in *Zn* and *Ga* and we find that we must take core corrections into account to obtain accurate results.

**Resumen**

En este trabajo presentamos una determinación de la estructura de bandas y de las constantes elásticas del *ZnSe* y el *GaAs* utilizando pseudopotenciales *ab initio* y conservadores de la norma dentro del formalismo del funcional de la densidad. Los resultados obtenidos se comparan con los valores obtenidos experimentalmente para determinar la importancia de las *correcciones de "core"* , en el *Zn* y el *Ga*. Nuestros resultados confirman que las

correcciones deben tenerse en cuenta cuando tratamos con compuestos formados a partir de Zn y Ga.

# I Introducción.

En la década pasada comenzaron a desarrollarse los denominados **cálculos ab initio** (cálculos desde primeros principios), en los que no se incluye ningún tipo de ajuste a partir de datos experimentales. Entre las propiedades que se pueden obtener de esta forma se encuentran: las estructuras cristalinas, el espectro de fonones, las constantes de red, los módulos de compresión y cizalla y otras propiedades estáticas y dinámicas. Este desarrollo ha abierto muchas posibilidades para estudiar la materia condensada, puesto que en la actualidad es incluso posible una buena predicción de las propiedades que no pueden obtenerse de forma experimental debido a las características del sistema [2].

En este trabajo determinaremos , partiendo de primeros principios, los módulos de elasticidad y las estructuras de bandas de dos semiconductores del tipo III-V y II-VI que cristalizan en la **estructura zinc-blenda**. En concreto nos centraremos en el $GaAs$, cuyas propiedades ya han sido ampliamente estudiadas tanto desde el punto de vista experimental como desde el punto de vista teórico, y en el $ZnSe$ no tan estudiado como el compuesto anterior.

Utilizamos la teoría del funcional de la densidad en la aproximación de la densidad local [1], LDA (Local Density Approximation). Consideraremos además en nuestro planteamiento inicial, y a la hora de realizar los cálculos, la inclusión de las denominadas **correcciones no lineales de core** . Estas correcciones consisten en un adecuado tratamiento en la energía de

canje y correlación, de los electrones de la capa $3d$ (electrones del core) que se encuentran muy próximos energéticamente a los electrones de la capa de valencia. Para el $ZnSe$, los cálculos electrónicos efectuados muestran que las bandas $3d$ del $Zn$ están sólo a 7 eV aproximadamente por debajo del máximo de la banda de valencia presentando un pequeño grado de dispersión [8], mientras que para el $GaAs$ las bandas $3d$ del $Ga$ están aproximadamente 2.7 eV por debajo de dicho máximo y no presentan casi dispersión [4]. Por tanto, para los semiconductores formados a partir del $Zn$ el error en el que se incurre tratando los electrones $3d$ como *estados de core congelados* (*frozen core states*), es aún más importante que para los semiconductores formados a partir de $Ga$ [10]. En consecuencia, para tener en cuenta los efectos de los electrones $3d$ del $Zn$ y del $Ga$ , es necesario a su vez la introducción de las denominadas *correcciones de correlación e intercambio no lineales* , (dada la forma no lineal de la energía de canje y correlación), para obtener una descripción razonable de las propiedades estructurales para los dos semiconductores estudiados [11].

El método de cálculo utilizado para determinar las constantes elásticas fue desarrollado por Nielsen y Martin [12] cuando estudiaron las constantes elásticas para el $Ge$, el $Si$ y el $GaAs$ usando los cálculos de la tensión macroscópica y de la fuerza sobre los átomos en el sólido. Basándonos en cálculos previos efectuados para materiales similares [2,3], podemos concluir que nuestros resultados son igualmente exactos y pueden ser usados para obtener la estructura de bandas electrónica y las constantes elásticas tanto del $GaAs$ como del $ZnSe$.

En la sección II describiremos de forma breve el método de cálculo. En la sección III mostraremos los resultados obtenidos para las propiedades electrónicas y las constantes elásticas

del *GaAs* y el *ZnSe* y los compararemos con los de otros trabajos anteriores. Finalmente en la sección IV presentamos las conclusiones obtenidas.

# II Método de cálculo

En este estudio hacemos uso de la teoría del funcional de la densidad dentro de la aproximación de la densidad local , LDA, [1] empleando un desarrollo en ondas planas y pseudopotenciales no locales y conservadores de la norma del tipo de Bachelet, Hamann y Schlüter [4], junto con la forma de Ceperly y Alder para el canje y la correlación [5] tal y como fue parametrizada por Perdew y Zunger [6]. Se tendrán en cuenta además las denominadas **correcciones no lineales de core**, siguiendo el formalismo propuesto por Louie [7].

Las propiedades elásticas se determinan calculando las componentes del tensor de tensiones para pequeñas deformaciones usando el método desarrollado por Nielsen y Martin [12]. Para una deformación pequeña en la direccipn (100) las constantes elásticas $C_{11}$ y $C_{12}$ se obtienen de las relaciones en el límite armónico $C_{11}=\sigma_1/\epsilon_1$ y $C_{12}=\sigma_2/\epsilon_1$, donde $\sigma_i$ y $\epsilon_i$ representan respectivamente, la tensión y la deformación aplicada usando la notación de Voigt [14]. La tensión macroscópica en el sólido se calcula para una pequeña deformación usando el *Teorema de la tensión* [12] y las fuerzas sobre los átomos se obtienen a partir del *Teorema de Hellmann-Feynman* [16,17]. Para una deformación $\epsilon_4$ (deformación uniaxial en la dirección [111]) existen desplazamientos internos de las subredes y las posiciones atómicas en la celda unidad no quedan determinadas únicamente por simetría. Para estos casos Kleinman [18] definió un *parámetro de deformación interna* $\xi$ que describe el desplazamiento de los átomos. Nielsen y Martin [12]

formulan dos cálculos independientes de la tensión y la fuerza que determinan tres magnitudes independientes $C_{44}$, $\xi$ y la frecuencia del fonón óptico $\Gamma$, $\omega_\Gamma$. Con ello se obtiene la siguiente *relación tensión-deformación*:

$$\sigma_4 = [C_{44}^0 - \Omega^{-1}\Phi(\xi a_0/4)^2]\epsilon_4 = C_{44}\epsilon_4$$

donde $C_{44}^0$ es la constante elástica en ausencia de desplazamientos internos y $\Phi$ es la constante de fuerza, que es igual a $\mu\omega_\Gamma^2$, donde $\mu$ es la masa reducida, $a_0$ es la constante de red en el equilibrio y $\omega$ es el volumen de la celda unidad.

# III Resultados

### A. Constantes Elásticas

En orden a obtener resultados bien convergidos las funciones de onda se expanden en términos de ondas planas con una energía cinética de corte de 24 Ry para ambos semiconductores [13]. En la **Fig.1** mostramos la presión isotrópica del $ZnSe$ en función de la energía de corte. En dicha figura puede observarse como a partir de 24 Ry la presión isotróprica se mantiene constante, lo cual indica que esta energía de corte es suficiente para tener resultados bien convergidos [12]. La integración sobre la zona de Brillouin se realiza con suficiente aproximación utilizando un conjunto de diez puntos especiales [15] . Las constantes de red del equilibrio se determinan ajustando la energía total a la *ecuación empírica de estado de Murnaghan* [19]. La energia total en función del volumen por átomo para el caso del $ZnSe$ se muestra en la **Fig.2**.

Para obtener las constantes elásticas y la frecuencia del fonón para el $ZnSe$ usamos una deformación de $\epsilon_1 = \pm 0.002$ en la dirección (100) para obtener $C_{11}$ y $C_{12}$. Para determinar $\omega_\Gamma$, $C_{44}$ y $\xi$ aplicamos un pequeño desplazamiento $u = \pm 0.002$ Å a lo largo de la dirección (111) y una deformación $\epsilon_4 = \pm 0.002$ en la misma dirección.

Nuestros resultados obtenido utilizando las correciones de core para las constantes elásticas en el caso del $ZnSe$ son $C_{11}$=1.125 Mbar, $C_{12}$=0.501 Mbar y $C_{44}$=0.61 Mbar

El módulo de compresión está definido como $B = (C_{11} + 2C_{12})/3$ y la constante de cizalla efectiva como $C_s = (C_{11} - C_{12}/2$.

Para el $GaAs$ la deformación aplicada a lo largo de la dirección (100) para obtener $C_{11}$ y $C_{12}$ es $\epsilon_1 = \pm 0.004$. Mientras que para determinar $\omega_\Gamma$, $C_{44}$ y $\xi$ se aplica un desplazamiento $u = \pm 0.004$ Å y una deformación $\epsilon_4 = \pm 0.004$ a lo largo de la dirección (111). Los resultados obtenidos considerando y sin considerar correcciones de core en el $Ga$ se muestran en la **Tabla I** y para el ZnSe en la **Tabla II**.

De la observación de las tablas de resultados podemos extraer que los valores obtenidos para el módulo de compresión y la frecuencia $\omega_\Gamma$ concuerdan notablemente con los valores experimentales [23,24] y [27,28]. Las constantes elásticas calculadas comparan bien con los resultados obtenidos mediante *scattering de Brillouin* [22,26], esta concordancia con los resultados experimentales no existe si se desprecian las correcciones de core.

### B. Estructuras de Bandas

Continuando con el estudio de las propiedades de volumen de los dos semiconductores tratados, se procedió al cálculo de sus respectivas estructuras de bandas. Mostrándose los

resultados obtenidos para el $GaAs$ y el $ZnSe$ con correcciones de core en el $Ga$ y el $Zn$ en las **Figs.3 y 4**, .

Teniendo en cuenta que el método utilizado en nuestro estudio no describe de forma exacta la energía de los estados excitados aunque nos proporciona una descripción cualitativa de éstos, de la observación de las estructuras de bandas obtenidas para el $GaAs$ y para el $ZnSe$, incluyendo *correcciones de core* en el $Ga$ y en el $Zn$, vemos como el grado de concordancia entre los resultados anteriores conocidos [8,20,30] y los obtenidos en nuestro trabajo es excelente para las bandas de valencia asi como para la forma de las bandas de conducción (Es conocido que la teoría del funcional de la densidad solo proprociona información, estrictamente correcta, sobre el estado fundamental, subestimando generalmente el gap).

# IV Conclusiones

En este trabajo y usando métodos desde primeros principios hemos obtenido energías totales con un elevado grado de convergencia, fuerzas y tensiones en el $GaAs$ y el $ZnSe$ para llegar a los módulos de elasticidad, las frecuencias del fonón $TO(\Gamma)$ y las estructuras de bandas de estos materiales. Para los cálculos anteriores hemos usado un método autoconsistente con pseudopotenciales *ab initio* en el formalismo LDA con una base en ondas planas. En base a la observación de los resultados experimentales ya tabulados y los de otros cálculos en los que no se tenían en cuenta las correcciones de core, se llegó a la conclusión de que los electrones de la capa $3d$ tanto del $Ga$ como del $Zn$ no habían sido tratados de forma adecuada. Por lo tanto, en nuestro estudio usamos las denominadas correcciones de correlación e intercambio no

lineales que permiten un adecuado tratamiento de estos electrones. A la vista de los resultados obtenidos concluimos que estas correcciones de core permiten una mejor descripción de las propiedades estructurales de los dos compuestos, $GaAs$ y $ZnSe$, estudiados.

## Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a K. Kunc. R.M. Martin, R.J. Needs y O.H. Nielsen que han desarrollado los programas que hemos utilizado en este estudio, asi como a A. Muñoz por su ayuda y sugerencias en este estudio. . Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto PB91-0934 de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica, DGICYT.

# References

[1] W. Kohn and J.L. Sham, *Phys. Rev. B* **140**, A1133 (1965); *ibid B* **145**, 561 1966.

[2] P. Rodríguez-Hernández and A. Muñoz, *Semicond. Sci. Technol.* **7**, 1437 (1992).

[3] N. Chetty, A. Muñoz and R.M. Martin, *Phys. Rev. B* **40**, 11934 (1989).

[4] G.B. Bachelet, D.R. Hamann and M.L. Schlüter, *Phys. Rev. B* **26**, 4199 (1982).

[5] D.M. Ceperley and B.J. Alder, *Phys. Rev. Lett.* **45**, 566 (1980).

[6] J. Perdew and A. Zunger, *Phys. Rev. B* **23**, 5048 (1981).

[7] S. Louie, S. Froyen and M.L. Cohen *Phys. Rev. B* **26**, 1738 (1981).

[8] C.S. Wang and B.M. Klein, *Phys. Rev. B* **24**. 3393 (1981).

[9] G.B. Bachelet and N.E. Christensen, *Phys. Rev. B* **31**, 879 (1985).

[10] G.E. Engel and R.J. Needs, *Phys. Rev. B* **41**, 7876 (1990).

[11] A. Queish and R.J. Needs, *Phys. Rev. B* **43**, 4299 (1991).

[12] O.H. Nielsen and R.M. Martin, *Phys. Rev. B* **32**, 3780. *Phys. Rev. B* **32**, 3792 (1985).

[13] P.J.H. Denteer. *Ph. D. Tesis* (Universidad de Eindhoven, Holanda, 1987).

[14] J.F. Nye, *Physical Properties of Crystals* (Oxford University Press, Oxford, 1957).

[15] H.J. Monkhorst and J.D. Pack, *Phys. Rev. B* **13**, 5188 (1976).

[16] H. Hellman, *Einfukrung in die Quantumchemie* (Deuticke, Leipzig 1937).

[17] R.P. Feynman, *Phys. Rev.* **56**, 340 (1939).

[18] L. Kleinman, *Phys. Rev.* **128**, 2614 (1962).

[19] F.D. Murnagham. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **50**, 697 (1944).

[20] J.R. Chelikowsky and M.L. Cohen, *Phys. Rev. B* **14**, 556 (1976).

[21] J.B. Mullin, B.W. Straughan, et al. , *Inst. Phys. Conf. Ser.* **24**, 275 (1975).

[22] J.S.Blakemore, *J. Appl. Phys.* **53**, R123 (1982).

[23] C. Patel, T.J. Parker et al., *Phys. Status Solidi (b)* **122**, 461 (1984).

[24] R.I. Cottam and G.A. Saunders, *J. Phys. C* **6**, 2105 (1973).

[25] W.M. Yim and E.J.Stofko, *J. Electrochem. Soc.* **119**, 381 (1972).

[26] C.G. Hodgins and J.C. Irvin, *Phys. Status Solidi (a)* **28**, 647 (1975).

[27] D.H. Chung and W.R. Buessen, *J. Appl. Phys.* **38**, 2535 (1967).

[28] J.K.D. Verma and M.D. Aggarwal, *J. Appl. Phys.* **46**, 2841 (1975).

[29] C.H. Park and D.J. Chadi, *Phys. Rev. B* **49**, 16467 (1994).

[30] Renata M. Wentzcovitz, K.J. Chang and M.L. Cohen, *Phys. Rev. B* **34**, 1071 (1986) y referencias.

# Tablas

**TABLA I.** (a) Constante de red $a_0$, constantes elásticas $C_{ij}$ del **GaAs con correcciones de core en el Ga**, la constante elástica $C_{44}^0$, la frecuencia del fonón transversal óptico en $\Gamma$, $\nu_\Gamma$, el módulo de compresión B, la constante de cizalla efectiva $C_s$ y el parámetro de deformación interna $\xi$. (b) El mismo estudio sin correcciones de core.

| Ref. | $a_0$ (Å) | $C_{11}$ (Mbar) | $C_{12}$ (Mbar) | $C_{44}$ (Mbar) | $C_{44}^0$ (Mbar) | $\nu_\Gamma$ (THz) | B (Mbar) | $C_s$ (Mbar) | $\xi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Expt. [21] | 5.653 | | | | | | | | |
| Expt. [22] | | 1.126 | 0.571 | 0.60 | | | | | |
| Expt. [23] | | | | | | 8.013 | | | |
| Expt. [24] | | | | | | | 0.769 | | |
| Referencia [3] | | 1.38 | 0.55 | 0.66 | | | | | |
| Referencia [12] | 5.55 | 1.23 | 0.53 | 0.62 | | 8.09 | 0.73 | | 0.48 |
| Este trabajo (a). | 5.643 | 1.125 | 0.501 | 0.61 | 0.761 | 8.04 | 0.709 | 0.312 | 0.314 |
| Este trabajo(b). | 5.387 | 1.533 | 0.685 | 0.82 | 1.036 | 8.9 | 0.96 | 0.424 | 0.325 |
| | | | | | | | 0.995[1] | | |

[1] *Resultado obtenido ajustando mediante la ecuación empírica de Murnagham.*

**TABLA II.**(a) Constante de red $a_0$, constantes elásticas $C_{ij}$ del **ZnSe con correcciones de core en el Zn**, la constante elástica $C_{44}^0$, la frecuencia del fonón transversal óptico en $\Gamma$, $\nu_\Gamma$, el módulo de compresión B, la constante de cizalla efectiva $C_s$ y el parámetro de deformación interna $\xi$. (b) El mismo estudio sin correcciones de core.

| Ref. | $a_0$ (Å) | $C_{11}$ (Mbar) | $C_{12}$ (Mbar) | $C_{44}$ (Mbar) | $C_{44}^0$ (Mbar) | $\nu_\Gamma$ (THz) | B (Mbar) | $C_s$ (Mbar) | $\xi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Expt. [25] | 5.667 | | | | | | | | |
| Expt. [26] | | 0.872 | 0.524 | 0.392 | | | | | |
| Expt. [27] | | | | | | | 0.667 | | |
| Expt. [28] | | | | | | | | 0.283 | |
| Referencia [8] | 5.409 | | | | | | | | |
| Referencia [29] | 5.53 | | | | | | | | |
| Este Trabajo(a) | 5.632 | 0.873 | 0.514 | 0.43 | 0.56 | 6.2 | 0.635 | 0.175 | 0.377 |
| Este trabajo(b) | 5.183 | 1.4 | 0.79 | 0.758 | 1.009 | 7.9 | 1.01 | 0.32 | 0.37 |
| | | | | | | | 0.872[2] | | |

[2] *Resultado obtenido ajustando mediante la ecuación empírica de Murnagham.*

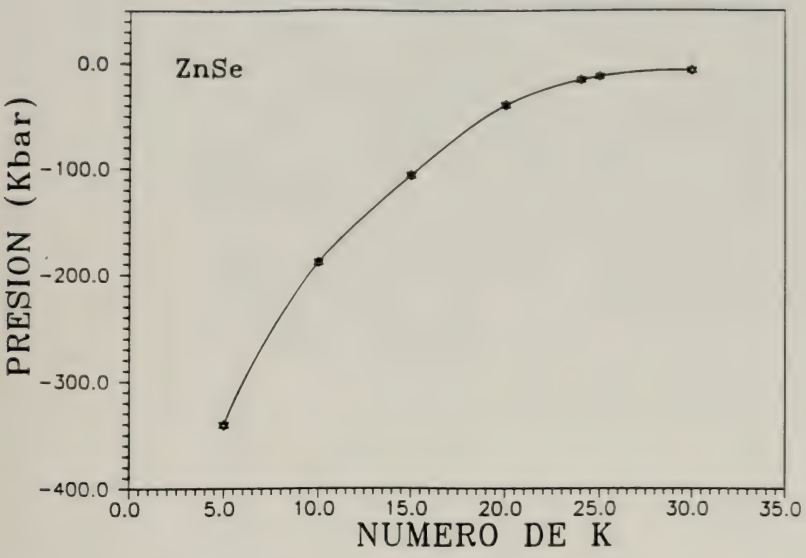


**Fig.1**

Presión isotrópica del $ZnSe$ en función de la energía de corte para una constante de red $a_0 = 5.565$ Å.

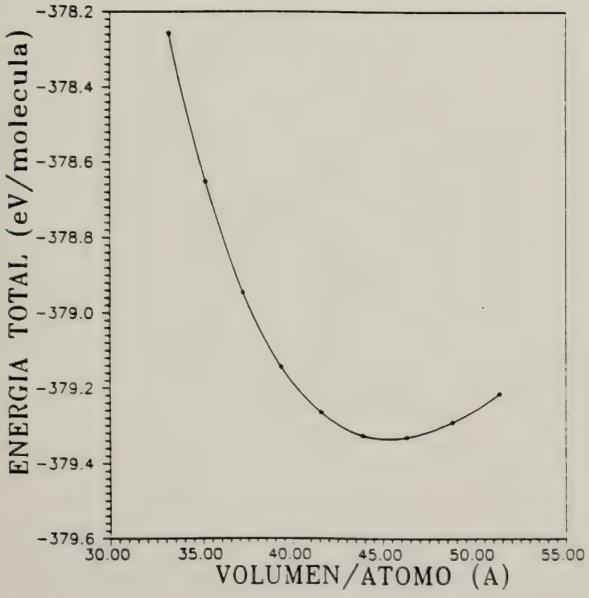


**Fig.2**

Energía total del $ZnSe$ en función del volumen por átomo a una energía de corte de 24 Ry.

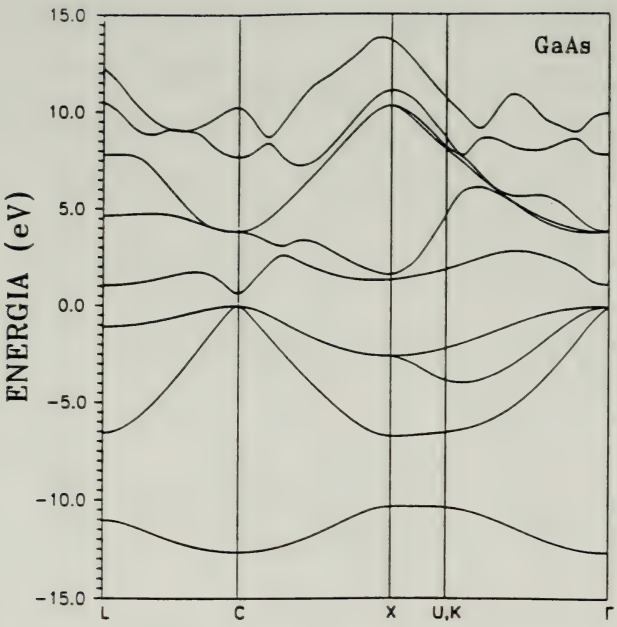


**Fig.3**

Estructura de bandas del *GaAs* calculada con una energía de corte de 24 Ry y una constante de red $a_0 = 5.643$ Å.

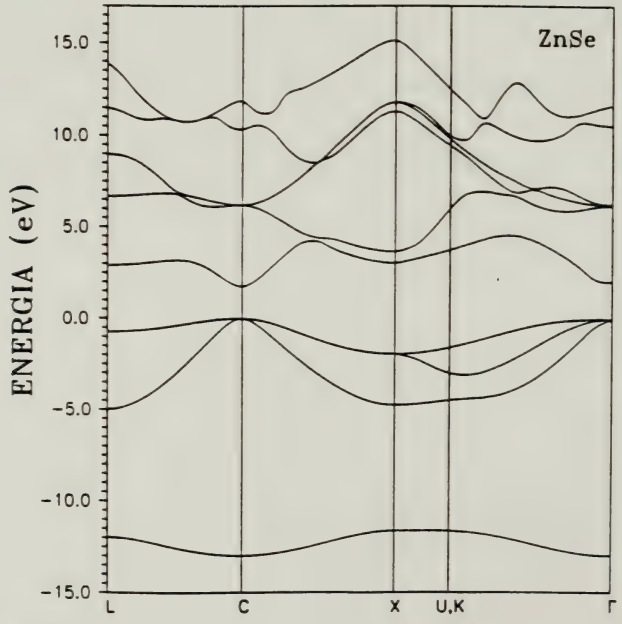


**Fig.4**

Estructura de bandas del *ZnSe* calculada con una energía de corte de 24 Ry y una constante de red $a_0 = 5.632$ Å.

SECCIÓN

# QUÍMICA

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 25-45 (1994)

# RESEARCH ON WORKING FLUIDS FOR REFRIGERATION, AIR-CONDITIONING, AND HEAT PUMP SYSTEMS

H. Kruse, M. Burke

Institute of Refrigeration
University of Hannover

## INTRODUCTION

Research on the working fluids for refrigeration and air-conditioning and heat pump systems has been conducted at the Institute of Refrigeration (IKW) at the University of Hannover, Germany, for more than 15 years. This research is mainly concerned with the interaction between refrigerants and lubricants in those systems and only to a minor extent with refrigerants, because the IKW is working in the field of applied research. The investigation on properties of pure refrigerants and refrigerant blends is the domain of scientists in the field of thermodynamics at various universities, e.g. the University of Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Up to the late seventies, the research has been carried out mainly with chlorofluorocarbons (CFCs) and hydrochlorofluorocarbons (HCFCs) like R12, R22, and R502 in the mixture with mineral oils. At that time, two facts were the starting point for refrigerant oil research at the IKW in Hannover:

### Energy Conservation

The oil crisis in 1974 had initiated in the industrialized countries research for energy conservation, namely for domestic heating systems by the development of heat pumps. Those heat pumps had to compete with conventional heating systems with lower initial costs. In order to compensate for the higher capital costs of heat pumps in an adequate time, energetic improvements in comparison to conventional heat pump systems had to be achieved . For this reason, research at the University of Hannover was started in order to apply the Lorenz cycle with gliding temperatures for energy saving using zeotrope binary refrigerant mixtures [1]. The knowledge of the behaviour of those refrigerant mixtures like R12/R114 and R22/R114 in combination with lubricants were not known until that time when only some minor investigations on oil/refrigerant had been done on blends of R22 and R12 outside their azeotropic point. Further on, the higher working temperatures in heat pumps as compared to refrigeration systems asked for more thermal stability of the lubricants and required for that purpose special developments of synthetic oils [2].

Also the gradual shortage of mineral oils with adequate low temperature behaviour, namely more of the paraffinic than the naphthenic type, had led to the development of synthetic lubricants like alkylbenzenes (AB), polyalphaolefins (PAO) and polyglycols (PG) during that period. The behaviour of these new synthetic oils together with the conventional refrigerants and especially together with their mixtures, was mostly unknown at that time, when the research of oil/refrigerant systems at the University of Hannover started. This research led to two Ph.D. theses by Schroeder [3] and Hesse [4] dealing mainly with this problem in order to find a way for predicting oil/refrigerant properties by using thermodynamic relations, instead of what up to that time was only possible by empirical equations.

## Environmental Effects

### Ozone Depletion

Another impact on the oil/refrigerant research was the theory of ozone depletion by Molina and Rowland [5] issued in the same year of the oil crisis 1974 but acknowledged in the scientific and political world only in 1987 when the "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer of the Earth" was signed. This agreement led to a new direction in the refrigerant oil research. Instead of chlorofluorocarbons (CFC) and hydrochlorofluorocarbons (HCFC) new hydrofluorocarbon (HFC) refrigerants as listed in table 1 without chlorine together with new lubricants of the polyglycol- or ester-type had to be applied in refrigeration and air-conditioning systems. The enforcement of the Montreal Protocol during the follow-up conferences in London 1990 and in Copenhagen 1992 accelerated the research towards ozone benign working fluids and led to a further Ph.D. thesis by Arnemann [6], who did experimental investigation with polyglycol/R134a systems as well as theoretical work in order to predict the behaviour of pure and mixed refrigerants with new lubricants theoretically. In parallel, measurements on those fluids were done extensively and published by Burke and Kruse [7, 8, 9].

With R134a a suitable alternative for the CFC R12 was found. So far there is no pure fluid from the HFC group known as a possible substitute for the HCFC R22 and the CFC R502. The presently most favoured alternatives are mixtures containing the HFCs R32, R125, R143a, and R134a [9]. To find a way to estimate the properties of binary and ternary refrigerant blends with oil will be the challenge in the future.

| Refrigerant | No. | Chemical Formular | Molecular Mass [kg/kmol] | $T_b$ [°C] | $T_{cr}$ [°C] | $p_{cr}$ [bar] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Chlordifluoromethane | R22 | $CHClF_2$ | 86,480 | -40,8 | 96,0 | 49,7 |
| Blend R22/R115 : 48.8/51.2 | R502 | $CHClF_2$/ $CClF_2CF_3$ | 111,640 | -45,4 | 82,2 | 40,7 |
| Difluoromethane | R32 | $CH_2F_2$ | 52,020 | -51,8 | 78,4 | 58,3 |
| Pentafluoroethane | R125 | $CHF_2CF_3$ | 120,020 | -48,1 | 66,3 | 36,3 |
| Trifluoroethane | R143a | $CH_3CF_3$ | 84,040 | -47,8 | 73,1 | 37,9 |
| Tetratfluoroethane | R134a | $CH_2FCF_3$ | 102,030 | -26,2 | 101,1 | 40,7 |
| Propane | R290 | $C_3H_8$ | 44,094 | -42,0 | 96,7 | 42,5 |
| Ammonia | R717 | $NH_3$ | 17,030 | -33,3 | 133,0 | 114,2 |

Table 1 -Properties of R12, R22, R502 and some of their possible alternatives

### Global Warming, Greenhouse Effect

During the last years, another environmental problem, the global warming effect appeared on the horizon and influenced the development of refrigeration systems. This has led to the reappearance of old refrigerants like ammonia ($NH_3$), hydrocarbons (HCs), and now under development carbondioxide($CO_2$), which require again lubricants under the aspect of modern, technologically well developed refrigeration and air-conditioning systems. Therefore, special lubricants for ammonia have been

detected in a research project at the IKW [10], which allow the application of ammonia in small refrigeration systems. These lubricants are now already on the market.

On the other hand, the market gain of hydrocarbons in refrigerators first in Germany and now in Europe has shown the importance of the interaction of lubricant and refrigerant. Especially concerning the lubrication behaviour of natural refrigerants together with new oils will further on be the challenge the lubricant refrigerant research for technically well developed refrigeration and air-conditioning systems. Therefore, in the following, the general problems of the working fluids in refrigeration and air-conditioning systems will be described first and the results of the research on those working fluids at the IKW in Hannover will be briefly discussed later.

## LUBRICANTS IN REFRIGERATION SYSTEMS

In contrast to the refrigerant, the lubricant, which is termed refrigeration oil, is needed only in the compressor of the refrigeration system. There, its primary job is to lubricate the bearings and other gliding areas inside the compressor. Besides, it provides for better sealing between the piston and the cylinder or heat transport out of the compressor. The migration of oil from the compressor into the refrigerant cycle can be reduced by an oil separator but not completely prevented. Driven by the refrigerant flow, the oil has to pass the cycle as balast and return to the compressor.

On its way through the refrigeration cycle, the lubricant must to withstand great fluctuations in temperature. The primary requirement for a refrigeration oil is a high thermal and chemical stability. Both, carbonization, chemical reactions with the refrigerant or other system materials at high temperatures as well as flocculations at low temperatures can reduce the life span of a refrigeration system dramatically.

For the so-called CFC and HCFC refrigerants, mineral oils, semi-synthetic and fully synthetic lubricants proved to be useful. Mineral oils are classified as paraffins, naphthenes, aromatics, and olefins. The available synthetic lubricants were mainly products on the basis of alkyl benzenes (AB) and polyalphaolefins (PAO). Only in rare cases, silicone or silicate oil or polyglycol lubricants (PG) were used.

The conversion of refrigeration systems from CFC to HFC refrigerants was accompanied by the conversion of the refrigeration system to new lubricants, as the previously used ones are not sufficiently miscible with the new refrigerants [7]. By the separation of lubricant and liquid refrigerant, which is termed miscibility gap of the oil/refrigerant system, the performance of the refrigeration setup can be influenced considerably.

### Oil and Refrigerant in the Refrigeration System

An insufficient miscibility of lubricant and refrigerant can cause problems as is exemplified in the diagram of a refrigeration system in figure 1. On the right, in the scheme of a refrigerator system, there is the "oil cycle" consisting of the compressor and the oil separator. As mentioned before, a small fraction of the lubricant migrates into the refrigerant cycle and has to be transported back from there to the compressor in order to supply it with the necessary lubricant quantity.

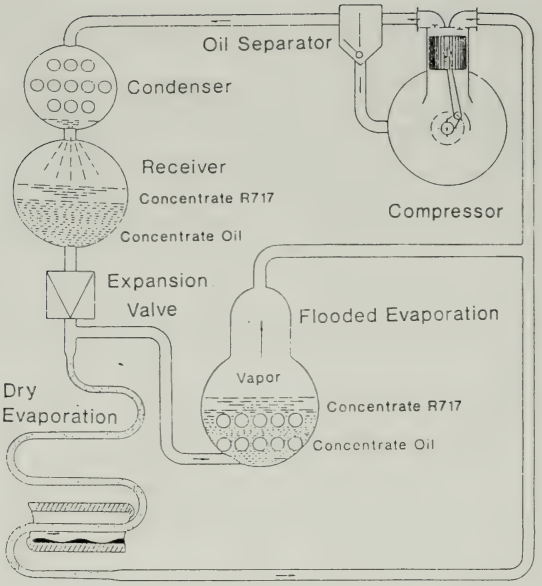


Figure 1 - Oil transport in a refrigerant cycle [8]

A good miscibility of oil and refrigerant has an advantageous effect on the oil-return from the refrigerant cycle to the compressor. Especially at low temperatures as they exist in the evaporator of a refrigeration system, in comparision to the pure oil the liquid viscosity of the oil/refrigerant mixture decreases considerably with an increasing refrigerant fraction. The flowability of the mixture grows correspondingly so that the lubricant, which is flowable because of its refrigerant fraction, can be transported by the refrigerant gas flow. In this condition, the oil can be returned to the compressor without any additional construction devices.

In the compressor, where the highest temperatures exist, a sufficient viscosity of the lubricant has to be guaranteed in order to ensure its lubrication. A good miscibility of oil and refrigerant results in a reduction of the lubricant's viscosity caused by the dissolved refrigerant. This fact has to be taken into consideration for the design of the compressor and the selection of the refrigeration oil.

In case of immiscibility with the refrigerant, oil separation may appear in the oil sump of the compressor and in apparatuses such as condenser, receiver or evaporator. Especially the evaporator may become an oil trap because of the increasing fluid viscosity with decreasing temperature. To realize a dry evaporation in the case of immiscibility, the pure oil has to be very low viscous in order to allow its transportation by the circulating refrigerant. Otherwise, the oil will remain in the evaporator. The oil-covered heat exchanger tubes will diminish the heat transfer and cause a pressure drop. In such refrigeration systems normally the principle of the flooded evaporation is applied. In a flooded evaporator, liquid refrigerant is always present. In the case of a miscibility gap, two liquid phases occur as shown in figure 1. If the oil has a lower density than the refrigerant--which is the case for CFC and HFC refrigerants in the relevant temperature range--, its evaporation is additionally hampered by the oil-rich liquid phase floating on top. These are unfavourable conditions.

The flooded evaporation is commonly used in large R22 and ammonia systems, where the oils are not miscible with ammonia are only partly miscible with R22 [11]. The return of the separated oil is facilitated in that way that in the case of ammonia the density is lower than the density of oil. By constructive devices or by draining the evaporator's sump during maintenance works, the refrigeration oil is removed from the evaporator and refilled to the compressor. In the case of R22 the floating oil on top of the refrigerant liquid surface is sucked from there by special oil return lines to the compressor.

Such a procedure is only possible for high capacity refrigeration systems with costly oil separating systems, which are constantly maintained by trained personnel. For low capacity systems this procedure is not economical. In these systems well soluble oil-refrigerant systems are applied to enable a dry evaporation. To find an oil that provides both solubility with the refrigerant at low temperatures and sufficient viscosity at high temperatures even in the mixture with the refrigerant is very important for most applications in refrigeration.

## THE MISCIBILITY GAP

Depending on temperature and pressure, not all liquids are fully miscible in each other. The separation of a system into two separate liquid phases as shown in figure 2, is called a miscibility gap. In the case of an oil/refrigerant mixture, there are two liquid phases, a more oil-containing liquid $\alpha$ and a more refrigerant-containing liquid ß. They are divided by a phase boundary. The separation is caused by the different densities of the two liquid phases. Above the liquids is a vapour phase, which for oil/refrigerant mixtures in regard to the tremendous differences of oil and refrigerant in vapour pressure consists nearly of pure refrigerant so that its amount of oil can be neglected.

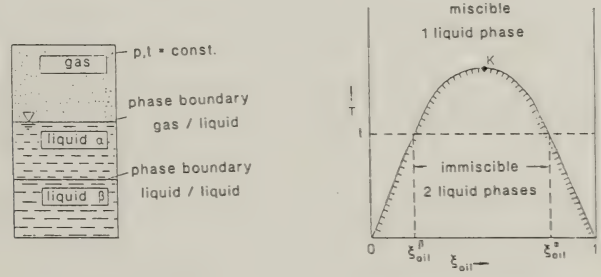


Figure 2 - Miscibility gap and miscibility diagram

In the right diagram of figure 2, the miscibility curve of the mixture is plotted as a function of temperature and mass fraction oil. The miscibility curve separates the scope of complete homogeneous solubility from the scope of the solubility gap, in which two liquids appear. The side of the miscibility curve, where the immiscibility starts here, is marked by a hatching.

Figure 3 shows a total of five possible versions of miscibility curves. The curves of type A to D have been determined both in past studies [12] and in the here presented results. Type E, a completely encompassed miscibility gap, for example occurs in the nicotine-water system.

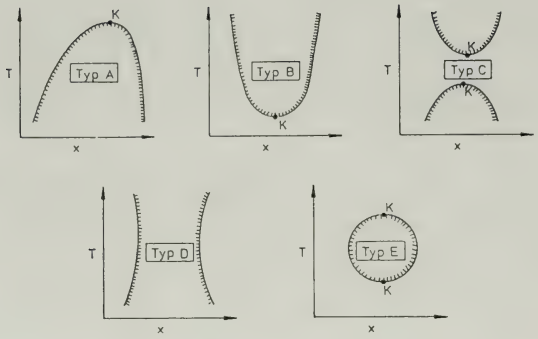


Figure 3 - Different forms of miscibility curves

## Results of Experimental Investigations on Miscibility

Investigations made by Hesse [4] of the refrigerant mixture of R22 and R114 with an alkyl benzene (A1) of the viscosity class ISO 32, whose results are reflected in figure 4, led to a considerable decrease of the separation temperature of binary refrigerant blends in contrast to the pure substances. The investigated, binary refrigerant blends possess a clearly more favourable miscibility with this oil in comparison to their pure components.

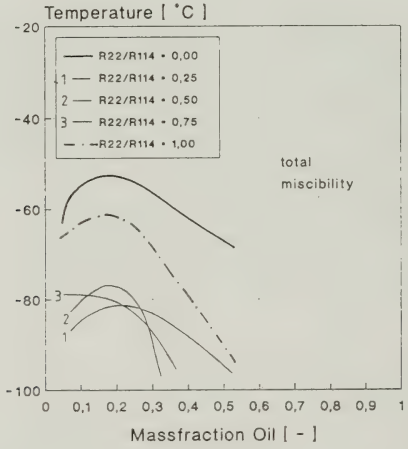


Figure 4 - Miscibility of R22 and R114 with the alkyl benzene lubricant A1

In a subsequent research project [7], the miscibility of the refrigerants R23, R134a and R152a as well as those of the binary blends R23/R152a and R134a/R152a with various oils were experimentally examined. Like R13, R23 is a low temperature refrigerant, whose normal boiling point is at -82.1°C and whose critical temperature at 25.6°C is quite low [13].

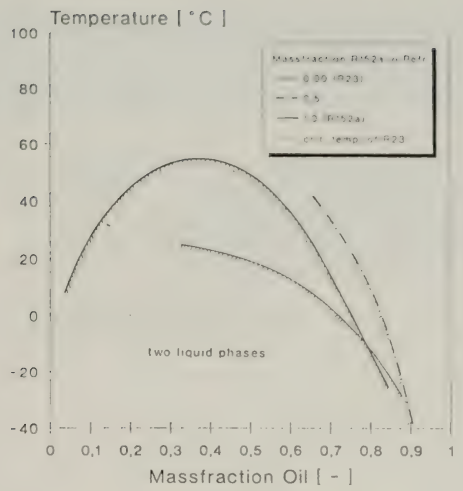


Figure 5 - Miscibility of R23 and R152a with an alkyl benzene lubricant A2

In contrast to the system R22/R114, the refrigerant blend R23/R152a shows another oil behaviour. Investigations of the solubility of this system with an alkyl benzene refrigeration oil A2 of viscosity ISO 46 of led to exactly the opposite effect as can be seen in figure 5. It shows the miscibility curve of the pure refrigerants as well as of a blend consisting in equal fractions of R23 and R152a with this oil. While R23 is only soluble with A2 for oil-rich compositions, R152a also has soluble compositions on the oil-poor side. With the refrigerant blend, the oil A2 shows an even more unfavourable solubility behaviour than the pure refrigerants.

While the examples of R22/R114 and R23/R152a show these unexpected results, the miscibility curves of most systems composed of oil and a refrigerant blend run inbetween those of the systems containing pure refrigerants and oil.

Within an ongoing research project of the European Community [14] at the IKW, the behaviour of the earlier mentioned refrigerants R32, R125, and R134a is investigated with a new but already commercially available lubricant (E8). This is a polyolester-type lubricant of the viscosity ISO 32, which is used in compressors for supermarket refrigeration.

The HFC R32 has the main disadvantage to be flammable, R125 of these three refrigerants has the highest contribution to the greenhouse warming effect, caused by its high direct greenhouse warming potential (GWP) and its high energy consumption as a refrigerant. As shown in table 1, R134a with a normal boiling point of -26.2°C is not suitable for a typical R22 or R502 application with evaporation temperatures down to -40°C.

Besides the pure refrigerants, the oil miscibility of a ternary refrigerant blend with mass fractions of 30% R32, 30% R125, and 40% R134a was determined by experiments.

The solubility behaviour of the three oil/pure refrigerant mixtures and the oil/refrigerant blend mixture is shown in figure 6. The investigations were carried out in the temperature range between -80°C and +80°C. The system E8/R32 forms a misciblitity gap at temperatures below -18°C and above +70°C. The oil E8 proved completely soluble with R125 for low temperatures down to -80°C. Only for temperatures above +65°C, that is near the critical

temperature of R125, separations of the liquid could be observed. The separation temperatures of the third binary mixture E8/R134a are below -70°C and thereby far below the application temperature of the refrigerant R134a. As with R134a, no miscibility gaps were identified for the ternary refrigerant blend with the oil E8 at high temperatures. For low temperatures these appear below -65°C.

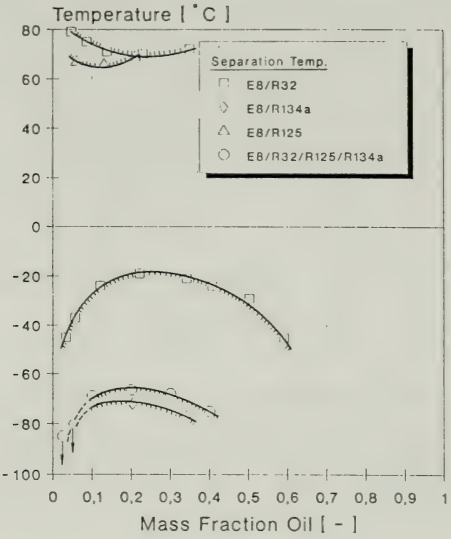


Figure 6 - Miscibility of R32, R125 and R134a with an ester-type lubricant E8

Since refrigerant blends, such as R32/R125/R134a are looked at as R502 substitutes for the application in a supermarket refrigeration system with evaporation temperatures of about -40°C, an oil/refrigerant mixture with this blend is sufficiently miscible.

Besides those HFC blends as substitutes for R502 and R22 in low temperature refrigeration, ammonia is an alternative refrigerant for R22, which contributes neither to the depletion of the ozone layer nor to the global warming of the atmosphere. Ammonia is energetically and volumetrically favourable as it has among other properties a large specific heat of vaporization and a high volumetric refrigerating capacity. Due to its favourable energetic behaviour, the indirect contribution to the greenhouse warming effect is kept at a minimum. Moreover, ammonia is inexpensive and available in sufficient quantities.

The nonferrous metals normally used in refrigerating systems, e.g. copper and brass are as well as the majority of the jointing materials are not compatible with ammonia. Further disadvantages are the flammability and the toxicity of ammonia. Ammonia is classified as a gas which is not easily inflammable and whose explosion hazard in air is relatively small. The smell of ammonia is regarded as very disagreeable. Even smallest volumetric amounts in the air are being preceived by human beings.

In spite of its local danger potential, the refrigerant ammonia has proved its reliability in large industrial plants for decades. It is used there in absorption as well as in compression refrigeration cycles. The commonly used oils in ammonia refrigeration systems, e.g. mineral oils or polyalphaolefines, are miscible with ammonia only on a very limited basis, as shown in

figure 7 [11] with a logarithmic abscissa. Only in compositions with oil mass fractions far below 1% or above 99%, these working fluids shown here are completely soluble. For concentrations inbetween these critical values, this mixture has a miscibility gap and therefore does not meet the requirements, which are necessary for a dry evaporation.

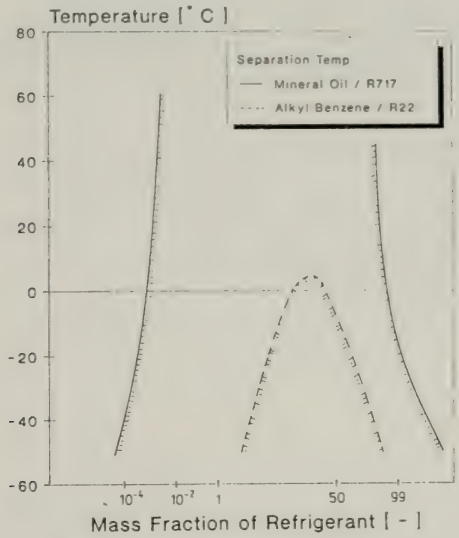


Figure 7 - Miscibility of a mineral oil with ammonia

This was one reason why ammonia could not be used economically in refrigeration systems of smaller capacity in the past and was exactly the starting point, where a research project [10] at the IKW was initiated, which comprised investigations of the miscibility of lubricants with ammonia. The basic idea was that similar to the polar R12-substitute R134a, the polar refrigerant ammonia could likewise be soluble with the new, polar, synthetic lubricants.

A total of five lubricants, one ester oil and four polyglycol oils, with regard to their miscibility with ammonia were investigated within this research project. The polyglycols P3, P4, and P5 are base oils, P6 is an added version of the oil P3. Some data of these oils are contained in table 2. Besides the kinematic viscosity, the pour point, and the principal solubility with water and mineral oil, the information to what fractions they are composed of ethylene oxide (EO) and of propylene oxide (PO) is additionally given for the polyglycols.

Table 2 -Investigated oils

| Sign | Type of Oil (EO : PO) | $\nu$ $[10^{-6}\frac{m^2}{s}]$ 40 / 100°C | Pour Point [°C] | Solubility in Water | Solubility in Min. Oil |
|---|---|---|---|---|---|
| E3 | Polyol Ester | 25 / 5 | -54 | no | ? |
| P4 | PG (0:1) | 50 / 9 | -45 | no | yes |
| P3, P6 | PG (1:1) | 70 / 14 | -50 | yes | no |
| P5 | PG (4:1) | 55 / 11 | 0 | yes | no |

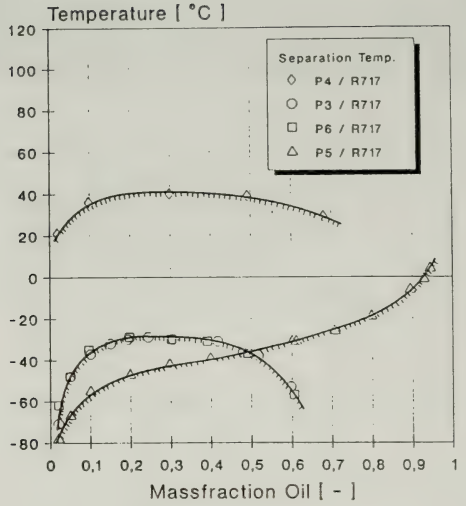


Figure 8 - Miscibility of polyglycols with ammonia

The results of the miscibility investigations with polyalkylene glycols are plotted in figure 8. Within the investigated temperature range between -80°C and +90°C, none of the investigated oil/ammonia systems was completely miscible. The oil P4 consisting of pure propylene glycol, already showed separation at temperatures between +20°C and +40°C. This oil, therefore, does not constitute an improvement in comparision to conventional refrigeration oils.

The solubility limit of the systems consisting of oil P3 or P6 --both composed of equal fractions of ethylene and propylene oxid-- and ammonia is shifted to clearly lower temperatures. For compositions with less than 5% oil as they can exist in the evaporator of a refrigeration system, the separation temperatures are clearly below -40°C. In refrigeration systems with evaporation temperatures between -40°C and -50°C the miscibility of this oil could, therefore, be sufficient for the necessary viscosity reduction in the evaporator and thereby enable the automatic oil return to the compressor. The additives of the oil P6 did not have any impact on the miscibility in this case.

For the mixture oil P5/ammonia, the miscibility curve is rather atypical. The mixture ratio EO to PO of this lubricant is 4 to 1. For refrigerant-rich compositions, this mixture showed the lowest separation temperatures. With a growing oil mass fraction, however, the separation temperature also increased continuously. Compositions with oil mass fractions of more than 95% already showed miscibility gaps for temperatures above 0°C. This could particularly cause problems for the oil transport through the suction line to the compressor in small capacity refrigeration systems due to the high viscosity of the oil-rich liquid phase.

The investigations with the polyol ester E3 revealed on the one hand insolubility with ammonia in the investigated temperature range and on the other hand chemical reactions. Therefore ester-type lubricants are not suitable for applications with ammonia.

## Theoretical Investigations on the Miscibility of Oil/Refrigerant Systems

The calculation on the miscibility of oil/refrigerant systems at the Institute of Refrigeration in Hannover was started by Hesse [4]. For the mixture of oil A2/R22 as shown in figure 4. Using a Lee-Kesler-Ploecker equation of state for the vapour phase and the UNIQUAC equation for the liquid phase and binary interaction parameters, which were fitted to the results of the vapour pressure measurement, the miscibility line was estimated as presented in Figure 9. The shape of the curve was very similar to that of the experimentally determined miscibility curve. Unfortunately, the separation temperatures of the calculated curve show deviations up to 30 Kelvin.

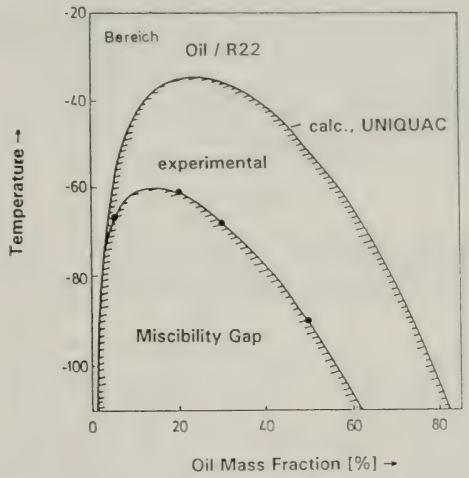


Figure 9 - Comparison of the measured miscibility gap and the results calculated by using the UNIQUAC model

The theoretical work was continued by Arnemann [6]. In addition to UNIQUAC, he included the equations of Flory-Huggins, of Wilson and the equation of Redlich-Kwong-Soave (RKS) for the calculation of the liquids in his investigations. The vapour phase was always calculated using the RKS equation of state. In the first step, the empirical equations were fitted to the vapour pressure data for the oil/refrigerant mixture. The results of the calculation are illustrated in figure 10, where the separation temperatures are shown as a function of refrigerant mass fraction. The results are similar to those of Hesse with similar shapes of the curves but a significant deviation in separation temperature. Although the binary interaction parameters of the Flory-Huggins equation were adapted as a linear and quadratic function of the temperature, the results calculated by UNIQUAC, using constant interaction parameters, are closer to the experimental data.

In the second step of this work, the calculations were fitted to the results of some miscibility measurements. As presented in figure 11, the deviation between the calculated and the experimental results decreased drastically and correspond very well for low refrigerant mass fractions. Like in the first step, using the UNIQUAC equation results in the best data.

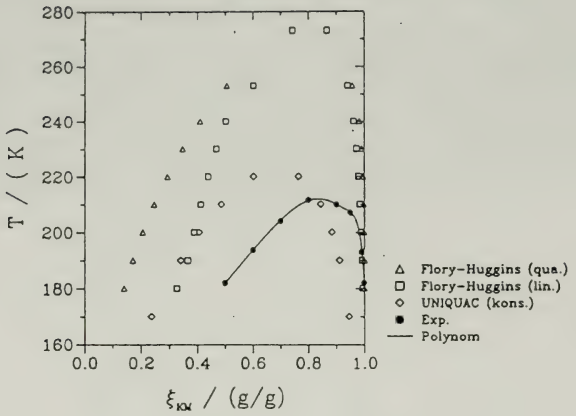


Figure 10 - Calculation on miscibility of alkyl benzene A1 with R22 using parameters fitted to the vapour pressure measurements

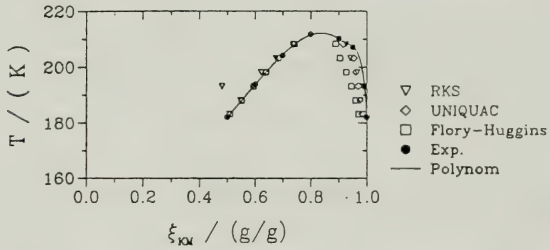


Figure 11 - Miscibility of alkyl benzene A1 with R22 using parameters fitted to the miscibility measurements

The results of the estimation on miscibility for mixtures of a polyglycol-type lubricant with R134a illustrated in the figures 12 and 13 showed the same tendencies as seen before. For this mixture, the immiscibility starts at the side above the curve for high temperatures. Only with the UNIQUAC equation, it was possible to predict liquid separation using parameters that are fitted to the vapour pressure, yield in high deviation to the measurements. Adapted to the results of some miscibility measurements, it was possible to estimate separation temperatures with a Flory-Huggins and RKS equation as well. For the lower mass fraction of refrigerant, the prediction of the RKS differs rather strong from other equations.

When comparing the binary interaction parameters for both oil/refrigerant systems, no physical relation could be found between the fits on the results of the vapour pressure measurements and miscibility measurements. Finding satisfactory possibilities in order to predict the miscibility behaviour of oil/refrigerant systemy will be one challenge of the future.

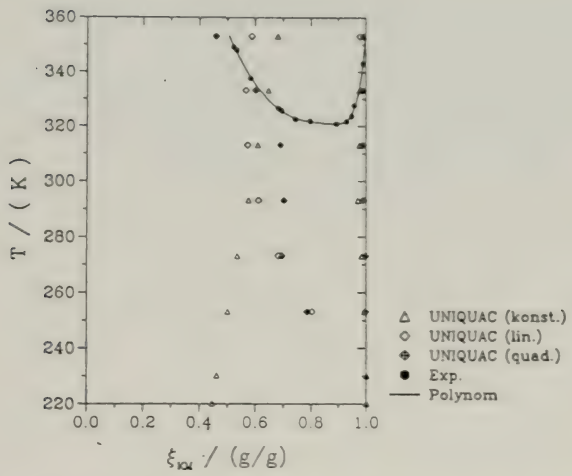


Figure 12 - Calculation on the miscibility of a polyglycol with R134a using parameters fitted to the vapour pressure measurements

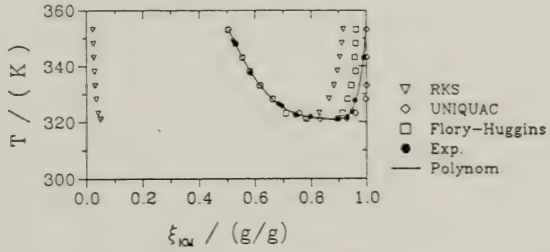


Figure 13 - Calculation on miscibility of a polyglycol with R134a using parameters fitted to the miscibility measurements

## VAPOUR PRESSURE OF OIL/REFRIGERANT SYSTEMS

### Results of Vapour Pressure Measurements

With increasing mass fraction of oil, the vapour pressure of the oil/refrigerant systems decreases as shown in figure 14, where the vapour pressure of the ternary blend R32/R125/R134a in the mixture with the ester-type oil E8 is shown as a function of temperature with the mass fraction of oil as a parameter. This kind of diagram is for example helpful to estimate the solved refrigerant in the oil in a crankcase of the compressor. For a given suction pressure and oil temperature the composition of the oil refrigerant mixture can be determined.

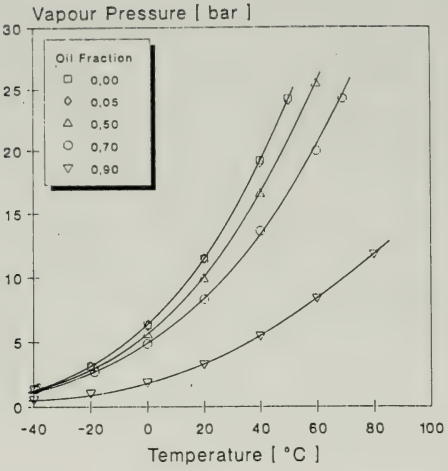


Figure 14 - Vapour pressure of the ternary refrigerant blend R32/R125/R134a (30/30/40) with the ester-type oil E8

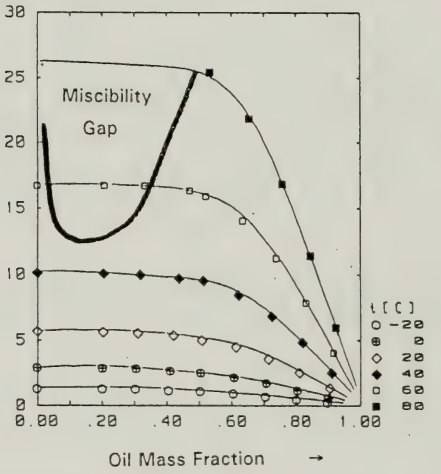


Figure 15 - Vapour pressure of a polyglycol/R134a system

In figure 15, the vapour pressure of six isotherms of the polyglycol/R134a system is shown as a function of mass fraction oil. In addition, the miscibility curve is included in this diagram. For oil mass fractions lower than 40%, the decrease in vapour pressure in comparision to the pure refrigerant is very small. With a higher oil mass fraction, the vapour pressure of the system drops drastically down to the pressure of the pure oil, which is negligibly low in comparison to the refrigerant.

## Calculation of the vapour pressure of oil refrigerant systems

For the calculation of the vapour pressure simple, empirical polynoma equations were adapted to the results of the measurements by Schröder [3]. First improvements were done by Hesse [4] by the application of the Lee-Kesler-Plöcker, Wilson and UNIQUAC equation for the activity coefficients of the liquid. Using temperature dependent parameters, the average deviation in comparison to the results of measurements was about 5%. These results could be confirmed by Arnemann [6], who also included the Flory-Huggins equation and the RKS equation of state for the liquid.

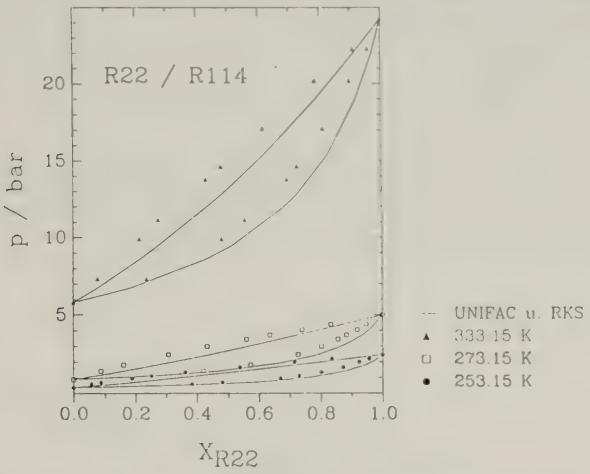


Figure 16 - Calculation on vapour pressure of the R22/R114 blend using the UNIFAC equation

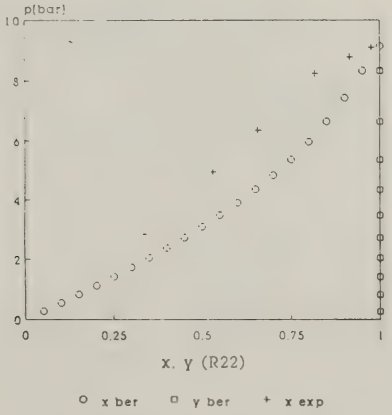


Figure 17 - Calculation on the vapour pressure of the mixture R22/A1 using the PSRK equation of state

Arnemann further on extended the prediction of the vapour pressure of oil/refrigerant systems using the UNIFAC equation. The results for the refrigerant blend R22/R114 are illustrated in figure 16, where the dew and boiling curves are given for three temperatures. The calculated pressures in tendency are too small and show high deviations in comparison to the results of the measurements. The average deviation for a temperature of 0°C is about 13%. For oil/refrigerant systems, the deviation increased to values from 30 to 60%. Further investigations at the IKW with an improved equation, a so-called Predictive Soave-Redlich-Kwong equation [15] confirmed the results of Arnemann. As an example, the vapour liquid data of the A1/R22 mixture at a temperature of 20°C are illustrated in figure 17.
The estimation of the behaviour of HFCs was not possible because of the missing group parameters for the fluorine containing components.

## VISCOSITY

The liquid dynamic viscosity is determined at the IKW by using a specially designed falling ball viscometer of the Höppler type as illustrated in Figure 18. Driven by gravity, a ball glides and/or rolls in an inclined glass tube filled with the test fluid. The dynamic viscosity of the fluid is a function of the falling time the ball needs for a given distance, the differences in the density of the ball and the fluid and an apparatus constant [8].

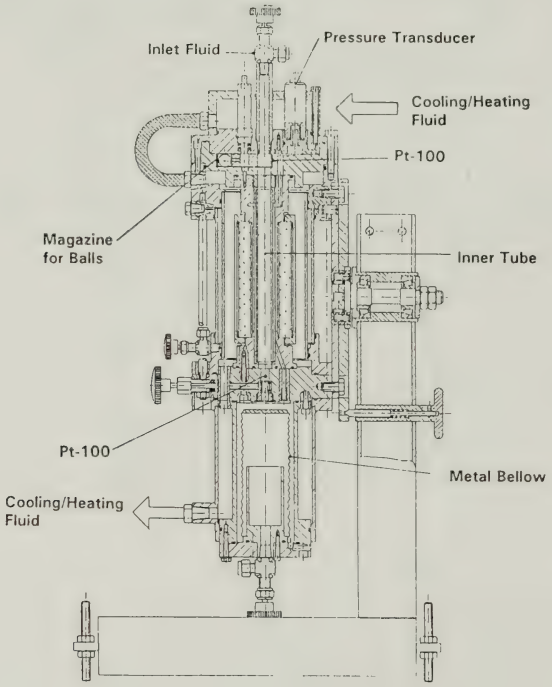


Figure 18 - Falling ball viscosimeter

## Results of Viscosity Measurements

In figure 19 the dynamic viscosity of ammonia in the mixture with the polyglycol P3 for different concentrations is shown as a function of temperature. Besides some isobaric lines the miscibility curve is enclosed in this diagram. With respect to increasing ammonia fractions, the viscosity of the mixtures due to the mutual solubility of both fluids decreases drastically.

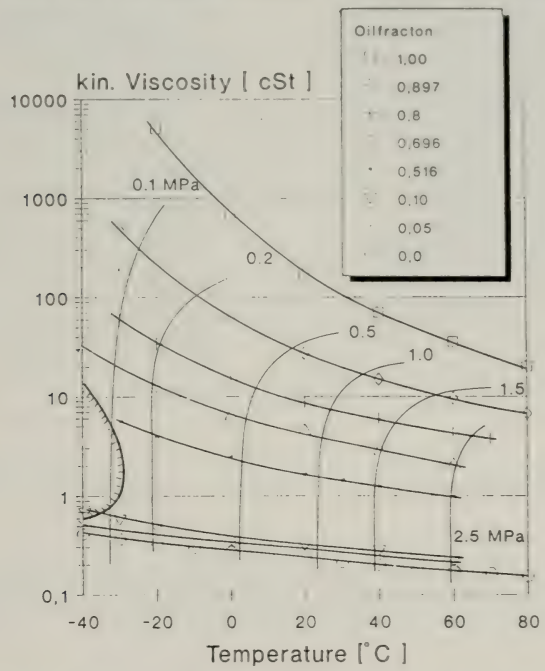


Figure 19 - Kinematic viscosity of oil P3 in the mixture with ammonia depending on temperature and pressure

Pure oil at the temperature of 80°C has a viscosity of 20 cSt. The viscosity of a mixture containing 10% ammonia at the same temperature is about 7 cSt, extrapolated for 20% ammonia around 3 cSt and for 30% less than 2 cSt. On the other hand, the viscosity is sufficiently low for pure oil concentrations at low temperature. These are good conditions for an oil return driven by the refrigerant flow out of the evaporator into the compressor.

In contrast to ammonia and the new HFC-fluids, hydrocarbons show a high solubility with mineral oils, even higher than the former CFC refrigerants. As presented in figure 20, the reduction of viscosity with increasing mass fraction of propane is drastically higher than with increasing mass fraction of R12. The question is, if this reduces the oil viscosity to such a degree that it is necessary to increase the viscosity class when changing from the CFC R12 to a hydrocarbon refrigerant.

In figure 21 the kinematic viscosity also for the isobaric curves of propane and R12 is presented as the function of temperature. Concerning the higher vapour pressure of propane, the maxima of the isobaric lines are slightly higher than for R12 in the mixture with the same oil. With increasing pressure the deviation of both systems decreases.

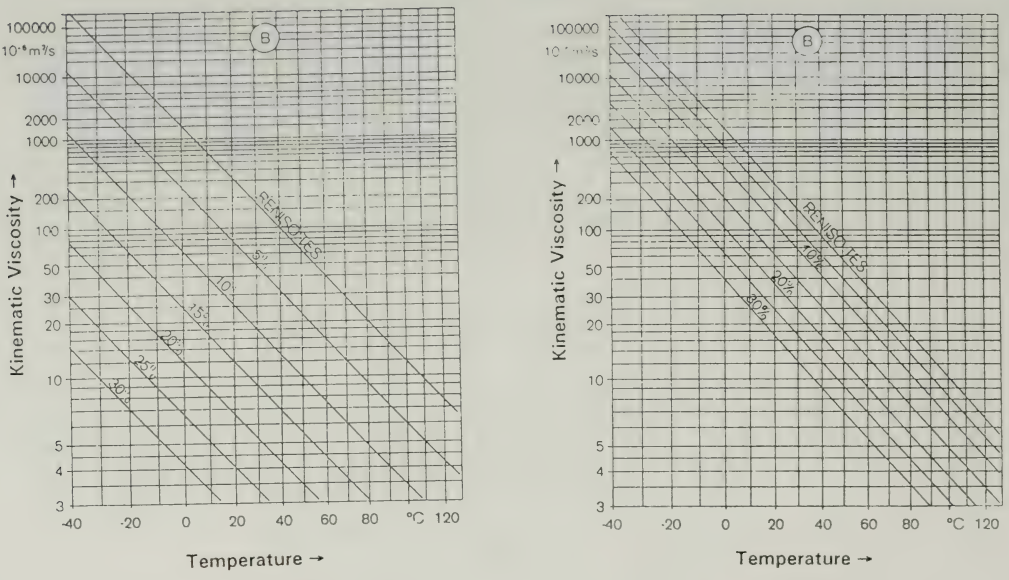


Figure 20 - Viscosity Behaviour of a Mineral Oil/Propane and Mineral Oil/R12 System With Increasing Refrigerant Mass Fraction [16]

Beside the isobaric curves, the viscosity lines for different mole fractions of a refrigerant are included in this diagram. In contrast to the usually shown dependency on the mass fraction, the reduction of viscosity for given mole fractions of the refrigerant seems to be nearly the same for both systems. As is known from the thermodynamics, the vapour pressure of the mixture is related to the mole fraction of the components and not to their mass fraction. Comparable liquid viscosities of both systems are possible if the hydrocarbon and the CFC refrigerants have a similar vapour pressure. Then the difference in the liquid viscosity of both oil/refrigerant systems in the compressor crankcase can be expected to be very low.

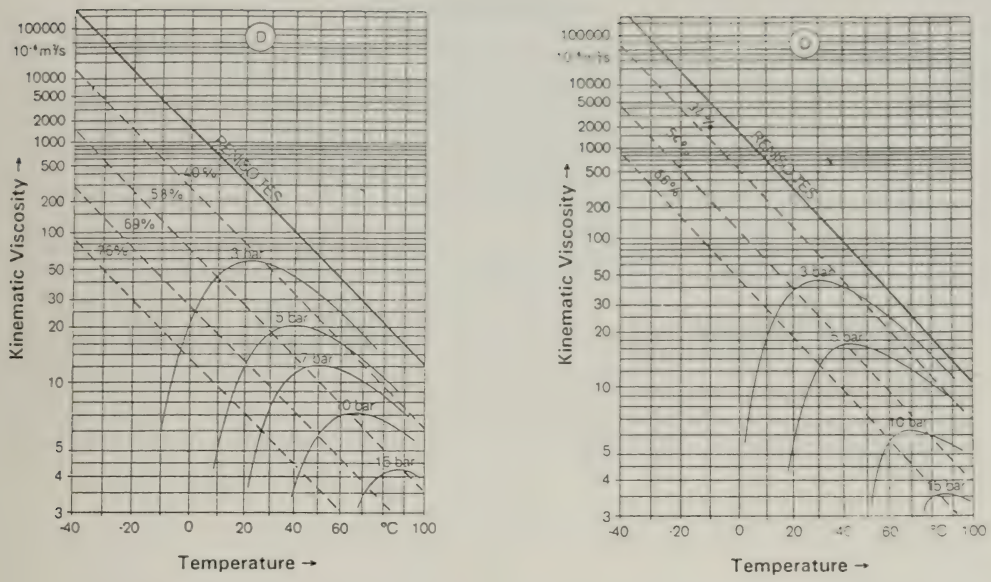


Figure 21 - Viscosity-Pressure-Temperature Diagram of a Mineral Oil/Propane and a Mineral Oil/R12 System With the Refrigerant Mole Fraction as Parameter [16]

## Calculation of viscosities

For the calculation of the liquid viscosity, various simple approximations are known, where the viscosity of a mixture can be calculated as a function of its composition by mass, molee or volume fraction. Arnemann [6] found out that the equations of Lederer [17], Wilson [18] and Lees [19] showed the best results for the oil/refrigerant systems investigated. Beside the dependence on the mixtures' composition these equations include a binary interaction parameter that has to be fitted to the results of viscosity measurements. Arnemann showed that this interaction parameter depends both on temperature and composition.

As the above mentioned equations are only suitable for pure binary refrigerant/oil systems, Schroeder [3] and Hesse [4] tried to extend these equations to multicomponent oil/refrigerant systems. Their investigations resulted in high deviations from the experimental data. The estimation of the viscosity of an oil/refrigerant blend mixture could be improved in a way that instead of the pure components the viscosity each of the oil/refrigerant mixtures was used for the calculation.

## SUMMARY

More than 15 years' work has been done at the Institute of Refrigeration of the University of Hannover in the research of working fluids for refrigeration, air-conditioning and heat pump systems. This research mainly included the determination of thermophysical properties of oil/refrigerant mixtures, both experimental and theoretical. With regard to the CFC and HCFC phase-out, alternatives are and will be introduced into the market. These alternatives include both HFCs and natural fluids, such as hydrocarbons, ammonia, or carbondioxide. Beside pure components for the substitution of R12, for many applications the future alternatives for R22 and R502 are considered to be refrigerant blends belonging to the HFC group. The thermophysical properties of these blends and their mixture with a refrigeration oil are mostly unknown and have to be determined by experiments in the near future. The experimental measurements of properties, such as miscibility, density, vapour pressure, or viscosity are very time consuming and, therefore, cost extensive. The scientific tasks in the near future will be to improve the theoretical calculations in a way that the properties of oil/refrigerant systems can be estimated over a wide range of temperature, pressure, and composition, based on the properties of the pure components and the results of a few mixture measurements. This work is on a good way for the establishment of equations to calculate the vapour pressure and the liquid viscosity of oil/refrigerant systems. For the estimation on miscibility of oil/refrigerant systems some additional work and further investigations are necessary to yield satisfactory results.

# LITERATURE


[1] H. Kruse: Energy Saving by Using Suitable Refrigerants for Heat Pumps in Europe. ASHRAE Meeting Chicago, International Day, February 1977

[2] H. Kruse, M. Schroeder: Fundamentals of Lubrication in Refrigeration Systems and Heat Pumps. ASHRAE Annual Meeting Kansas City, USA, 1984

[3] M. Schroeder: Beitrag zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften von Mischungen synthetischer Kältemaschinenöle mit Ein- und Zweistoffkältemitteln. Forschungsbericht Nr. 19 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, Stuttgart 1986.

[4] U. Hesse: Experimentelle und theoretische Untersuchungen der Eigenschaften binärer und ternärer Öl-Kältemittelgemische. Forschungsbericht Nr. 29 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, Stuttgart 1989.

[5] F.S. Rowland, M.J. Molina: Chlorofluoromethans in the Environment. Reviews of Geophysics and Space Physics 1 (1974), pp. 1-35.

[6] M. Arnemann: Methoden zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften von Öl-Kältemittel-Gemischen. Dissertation, Universität Hannover 1993.

[7] H. Kruse, M. Burke: Untersuchungen zum Ölverhalten der Kältemittelgemische R23/R152a und R134a/R152a. Forschungsbericht Nr. 35 des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, Stuttgart 1992.

[8] M. Burke, H. Kruse: Solubility and Viscosity of New Oil/Ammonia Systems. International Conference on Energy Efficiency in Refrigeration and Global Warming Impact, University of Ghent, Belgium, 1993.

[9] M. Burke, S. Carré, H. Kruse: Oil Behaviour of the HFCs R32, R125, R134a and One of Their Mixtures. IIR International Conference "CFCs - The Day After", Padova, Italy, 1994.

[10] H. Kruse, M. Burke: Untersuchungen von Schmierstoffen auf Löslichkeit und Anlagenverhalten mit Ammoniak. Abschlußbericht zum AIF-Forschungsvorhaben Nr. 161D, Hannover 1993.

[11] J.G. Romijn: An Oil-Free Refrigerant Plant. 17th International Congress of Refrigeration, Vienna 1987.

[12] H.P. Jaeger: Empirische Methode zur Vorausberechnung thermodynamischer Eigenschaften von Öl-Kältemittelgemischen. Dissertation, Universität Braunschweig 1972.

[13] ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta 1993.

[14] EC-Joule II Project: Replacement of CFCs in Refrigeration Equipment by Environmentally Benign Alternatives. JOUII-CT92-0060.

[15] T. Holderbaum: Vorausberechnung von Dampf-Flüssig-Gleichgewichten mit einer Gruppenzustandsgleichung. Fortschrittsbericht der VDI-Reihe 3 Nr. 243, VDI-Verlag Düsseldorf 1991.

[16] Fuchs Mineralölwerke GmbH, Technische Mitteilungen Nr. 143 und Nr. 145.

[17] E.L. L[illegible]erer: Viscosity of Binary Mixtures. Nature 139 (1937), pp. 27-28.

[18] O.G. Wilson: Chart Method of Predicting Viscosity of Lubricating Oil Blends. Nat. Petrol News 21 (1929) 21, pp. 87-92.

[19] C.H. Lees: On the Viscosities of Mixtures of Liquids and of Solutions. Phil. Mag. 1 (1901) 1, pp. 128-147.

SECCIÓN

# BIOLOGÍA

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 49-54 (1994)

# ESTUDIO HIGIENICO-SANITARIO DE AGUAS DE PLAYA DEL SUR DE TENERIFE

M.P. Arévalo, A. Arias, C. Rodríguez, A. Sierra.

Cátedra de Medicina Preventiva y Salud Pública.

Universidad de La Laguna. Tenerife.

## SUMMARY

A microbiological study was undertaken of the indicators of health and hygiene of seawater from beaches of Tenerife south. The microorganisms studied were: Total and fecal coliforms and fecal streptococci.

## RESUMEN

Se ha relizado un estudio higiénico-sanitario de aguas de mar de playas del sur de Tenerife. Los microorganismos estudiados fueron: Coliformes totales y fecales y estreptococos fecales.

## INTRODUCCION

Las playas canarias juegan un importante papel en la vida social y económica de nuestras islas. El clima cálido del archipielago, permite su disfrute a lo largo de todo el año, siendo muy apreciadas tanto por los propios canarios, como por el turismo nacional e internacional.

La contaminación microbiológica de aguas de playas procede principalmente de aguas residuales urbanas que contienen numerosos microorganismos, a veces

patógenos. Algunos de éstos tienen como fuente el ser humano y otros los animales o simplemente el suelo y/o las aguas dulces (1,2,4,7).

Este tipo de contaminación representa un peligro potencial para la salud de los bañistas. El baño en aguas contaminadas puede provocar enfermedades, sobre todo en la esfera otorrinolaringológica (rinitis, sinusitis, otitis, etc.), en la piel y mucosas (eczemas, vaginitis) y, en una medida aún no definida, enfermedades entéricas (8,9,10).

Para este estudio se eligieron las playas del litoral sur de nuestra isla, debido a que la temperatura media invernal es la más cálida, concentra la mayor proporción de playas turísticas y es lugar de elección de los tinerfeños para pasar las vacaciones, fines de semana, etc.

Se han seleccionado playas con características diferentes, para así comparar las circunstancias que podrían influir sobre su contaminación bacteriana.

Entre dichas características se han considerado:

- Playas naturales o artificiales
- Abiertas o cerradas
- Existencia o no de puerto deportivo o pesquero
- Tipo de población que generalmente hace uso de ella, así como el entorno urbanístico.

## MATERIAL Y METODOS

Han sido seleccionadas un total de 7 playas del litoral sur de la isla de Tenerife, situadas entre los municipios de Granadilla y Adeje.

Se analizaron un total de 84 muestras, recogidas mensualmente durante el año

1993. Para la toma y transporte se siguieron las indicaciones del RD 734/1988, BOE núm. 167 del 1 de Julio de 1988 (5). El estudio microbiológico se realizó durante las 24 horas siguientes.

Los parámetros microbiológicos estudiados han sido los establecidos en la legislación vigente (RD 734/88, Anexo 1, BOE número 169, 15 de Julio 1988)(6):

- Coliformes totales
- Coliformes fecales
- Estreptococos fecales
- *Salmonella*

La técnica utilizada ha sido filtración por membrana (3).

Se filtran 100 ml de cada una de las muestras de agua de playa para las determinaciones de coliformes, coliformes fecales, estreptococos fecales y 250 ml para *Salmonella*, colocando los filtros en los medios y temperaturas adecuadas para cada germen.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para la valoración de la calidad microbiológica de playas analizadas hemos aplicado los valores guía e imperativos establecidos en la legislación en vigor (RD 734/88, Anexo 1, BOE núm 169, 15 de Julio 1989) (6).

En la Tabla I se recogen los resultados correspondientes a las medias obtenidas en cada uno de los cuatro trimestres del año, de las aguas de playa estudiadas.

El 42.9% de la totalidad de las muestras trimestrales de agua de playa analizadas, sobrepasan el valor guía (V.G. 500 ufc/100 ml) establecido para el recuento de coliformes totales y sólo en un caso el valor imperativo (V.I. 10000 ufc/100 ml).

**Tabla I:** Recuento medio (trimestral) del contenido microbiológico de aguas de playas del litoral sur de Tenerife

| | COLIFORMES TOTALES/100 ml | | | | COLIFORMES FECALES/100 ml | | | | ESTREPTOCOCOS FECALES/100 ml | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PLAYAS | 1er Tr. | 2º Tr. | 3º Tr. | 4º Tr. | 1er Tr. | 2ºTr. | 3º Tr. | 4º Tr. | 1er Tr. | 2º Tr. | 3º Tr. | 4º Tr. |
| El Médano | 278 | 2621* | 47463** | 2300* | 236* | 284* | 657* | 145* | 10 | 52 | 430* | 12 |
| La Tejita | 67 | 70 | 444 | 74 | 16 | 40 | 342* | 38 | 6 | 80 | 570* | 8 |
| Los Cristianos | 426 | 623* | 2260* | 374 | 126* | 157* | 586* | 110* | 18 | 80 | 220* | 28 |
| El Camisón | 634* | 843* | 952* | 208 | 137* | 420* | 366* | 79 | 4 | 10 | 22 | 5 |
| Troya | 108 | 287 | 1438* | 360 | 77 | 123* | 553* | 100 | 3 | 4 | 20 | 2 |
| Pto. Colón | 217 | 1020* | 972* | 255 | 100 | 127* | 178* | 58 | 6 | 22 | 28 | 8 |
| Torviscas | 512* | 487 | 1202* | 285 | 223* | 217* | 337* | 107* | 4 | 90 | 94 | 14 |

*: Supera el valor guía

**: Supera el valor imperativo

Con respecto a los coliformes fecales, el 71.4% superan el valor guía (V.G. 100 ufc/100 ml) y en ningún caso el valor imperativo (V.I. 2000 ufc/100 ml).

Los valores guía establecidos para estreptococos fecales (V.G. 100 ufc/100 ml), se superaron sólo en el 7.2% de los casos.

En la distribución trimestral, se observa como el mayor porcentaje de muestras que superan los valores guía e imperativos, corresponde a los meses más cálidos (Julio, Agosto y Septiembre).

Teniéndo encuenta las características de cada playa:

- **El Médano** es una playa natural, abierta, sin puerto y de uso fundamentalmente local.
- **La Tejita** natural, abierta, sin puerto, no urbanizada y de uso local.
- **Los Cristianos**, natural, cerrada, con puerto pesquero y deportivo y de uso local.
- **El Camisón**, artificial con tres años de existencia, cerrada y sin puerto y de uso turístico.
- **Troya**, artificial, cerrada, sin puerto y de uso turístico.
- **Puerto Colon**, artificial, cerrada, con puerto deportivo y de uso turístico.
- **Torviscas**, artificial, cerrada y de uso turístico.

No encontramos relación clara entre la existencia de puerto deportivo, playa abierta o cerrada, y natural o artificial con el incremento de contaminación.

La contaminación microbiológica parece estar en relación directa con el número de bañistas que hace uso de las mismas. Así ésta es más notoria en aquellas playas de uso local (El Médano y los Cristianos), que presentan un evidente incremento de usuarios durante las vacaciones de verano.

También se observa que la mayor contaminación microbiológica corresponde a aquellas playas con un importante entorno urbanístico.

**BIBLIOGRAFIA**

(1) GARCÍA-LARA J, MENON P, SERVAIS P, BILLEN G. (1991). *Mortality of Fecal Bacteria in Seawater*. Applied and Enviromental Microbiology, 57: 885-888.

(2) GAUTHIER M, BREITTMAYER V. (1990). *La contaminación bacteriana del mar*. Mundo científico, 106: 1032-1036.

(3) GREENBERG AE, TRUSSEL RR, CLESCERI LS. Microbiological examination of water. In: *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 827-1038.

(4) MILNE DP, CURRAN JC, WILSON L. (1986). *Effects of sedimentation on removal of faecal coliform bacteria from effluents in estuarine water*. Wat Res, 20:1493-1496.

(5) Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno. Real Decreto 734/1988, de 1 de julio, por el que se establecen normas de calidad de las aguas de baño. BOE número 167.

(6) Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno. Corrección de errores del Real Decreto 734/1988, de 1 de julio, por el que se establecen normas de calidad de las aguas de baño. BOE número 169.

(7) OMS.(1984). Reunión de consulta sobre los métodos de vigilancia de contaminantes seleccionados en los efluentes de alcantarillas y las aguas costeras de uso recreativo: *Proyecto mixto OMS/PNUE*. Rev San Hig Pub, 58:171-173.

(8) PLEITE J, RORTAJADA R, ELORRIETA I.(1984). *Nuevos criterios para la gestión sanitaria de playas*. Indicador ecológico. Rev San Hig Pub, 58:73-82.

(9) SALIBA LJ. (1990). *Por un Mediterráneo más sano*. Foro Mundial de la Salud, 11:276-283.

(10) YOSHPE-PURER Y.(1989) *Evaluation of Media for Monitoring Fecal Streptococci in Seawater*. Applied and Environmental Microbiology: 2041-2045.

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 55-64 (1994)

# EFECTO DE LA CONSERVACION DE LAS MUESTRAS SOBRE EL COMPORTAMIENTO SEROLOGICO DE DIFERENTES ESTIRPES DE *BRADYRHIZOBIUM (CHAMAECYTISUS)*

M. Santamaría(1), J. Corzo(1), M.A. León-Barrios(2) y A.M. Gutiérrez-Navarro(2)

Departamentos de Bioquímica y Biología Molecular(1) y de Microbiología y Biología Celular(2). Universidad de La Laguna. La Laguna 38206 Tenerife

## SUMMARY

This work deals with the variable response against ELISA test by some isolates from *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)* infective on leguminous endemic to Canary Islands. This variability was explained as a consequence of the previous history and manipulation of the samples, mainly temperature for its preservation and freezing-thawing cycles. It is concluded that the serological relationships between species or strains must be studied using freshly prepared samples.

## RESUMEN

En este trabajo se describe la variabilidad de la respuesta en el análisis por ELISA de una colección de aislados de *Bradyrhizobium (Chamecytisus)* infectivos en leguminosas endémicas de las Islas Canarias. Al estudiar las causas de esta variabilidad, se encontró que la conservación e historia de las muestras previa a la realización del análisis afecta su reacción con los antisueros, siendo especialmente significativos la temperatura de conservación de las preparaciones antigénicas, así como el sometimiento de la mismas a ciclos sucesivos de congelación y descongelación. Se concluye que estos trabajos han se der realizados utilizando exclusivamente muestras bacterianas recién cultivadas.

KEY WORDS: *Bradyrhizobium*, ELISA, antigenic relationships, Canary Island Endemic legumes

PALABRAS CLAVE: *Bradyrhizobium*, ELISA, relaciones antigénicas, leguminosas endémicas de las Islas Canarias

# 1. INTRODUCCION

Las bacterias que forman nódulos fijadores de nitrógeno con las raíces de las leguminosas se encuadran en los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, pertenecientes a la familia Rhizobiaceae -para una revisión, ver [3]-. La mayor parte del trabajo realizado con estas bacterias se ha centrado en las estirpes infectivas en las leguminosas más interesantes para la nutrición humana o animal, y se conoce muy poco sobre los microsimbiontes de otras leguminosas menos utilizadas en la agricultura convencional. Por ello y a fin de lograr un conocimiento lo más exacto y completo posible de ambos géneros, existe un interés creciente en el aislamiento de bacterias de nódulos de estas otras leguminosas. El estudio de las estirpes aisladas requiere su encuadre taxonómico, lo que implica relacionarlas con las especies o estirpes ya conocidas de estas bacterias. Las técnicas serológicas constituyen métodos muy específicos para la identificación de microorganismos y, por ello, han sido ampliamente utilizadas no sólo para la identificación sino también para el establecimiento de relaciones entre diferentes especies y estirpes de rizobiáceas [2, 5, 8]. Entre las técnicas serológicas destaca por su sensibilidad, rapidez y facilidad de realización el denominado ELISA (Enzyme Linked InmunoSorbent Analysis), que fue empleado por vez primera para la identificación de estirpes de *Rhizobium* por BERGER y col. [1]. Estos autores encontaron que la congelación de los nódulos radicales o de las suspensiones de bacterias, previa al análisis, no alteraba los resultados del test ELISA. Sin embargo, en un estudio serológico de bradirrizobios aislados en nuestro laboratorio de muestras procedentes de diversas localidades de las Islas Canarias que habían sido congeladas, se detectaron resultados erráticos y algunas estirpes mostraron una homología aparente muy variable respecto a las utilizadas como referencia.

El objetivo de este trabajo fue el análisis de las causas de la mencionada variabilidad, especialmente en lo referente al tratamiento de las muestras previo a la realización del test ELISA.

## 2.1. Microorganismos y condiciones de cultivo

Las bacterias utilizadas para la obtención de los antisueros fueron las estirpes BGA-1 y BTA-1 de *Bradyrhizobium* sp. (*Chamaecytisus proliferus*), aisladas a partir de nódulos de *Teline stenopetala* y de *Chamaecytisus proliferus* ssp. *proliferus* respectivamente [4].

Con los antisueros obtenidos se estudió la reacción en ELISA con las siguientes estirpes de *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)*: BRE-1, aislada de nódulos de *T. canariensis*, BTA-3, BTA-4, BTA-5, BTA-7 y BTA-8, aisladas de nódulos de *Ch. proliferus* ssp. *proliferus*, y BCO-4, aislada de nódulos de *Adenocarpus foliolosus*. Como control negativo se empleó *Rhizobium meliloti* 1021.

Las bacterias fueron cultivadas en matraces de 500 ml del medio YM [9], disminuyendo las cantidad de manitol (1,0 g/l) para reducir la producción de polisacáridos. Los cultivos se llevaron a cabo en agitación (150 rpm) a 28°C durante 5 días (fase exponencial tardía).

## 2.2. Preparación de antígenos y producción de antisueros

Las células fueron recogidas por centrifugación; los sedimentos fueron lavados 3 veces en solución salina (NaCl 0,85%), y las bacterias lavadas se conservaron a -80°C hasta su uso.

Para la preparación de los antígenos se siguió el protocolo descrito por Siverio y col. [7], con modificaciones. Las bacterias fueron suspendidas (0,275 g por cada 10 ml) en tampón PBS (g/l: NaCl, 8,0; $Na_2HPO_4.12\ H_2O$, 2,7; $NaH_2PO_4.2H_2O$, 0,4; pH 7,2). Las preparaciones antigénicas se obtuvieron calentando las suspensiones bacterianas a 100°C durante 2 horas y se conservaron congelados hasta su empleo.

Los antisueros se prepararon inmunizando hembras de conejo de 2 kg de peso, mediante cuatro inyecciones intramusculares semanales de 2 ml de emulsión 1:1 del antígeno con el

coadyuvante incompleto de Freund (Sigma Chemical, Co.). Una semana después de la última inmunización los conejos fueron sangrados mediante incisión en la vena marginal de la oreja. Los antisueros se titularon frente a suspensiones de la estirpe homóloga mediante ELISA y se conservaron a - 80°C hasta su uso.

2.3. Realización de los test de ELISA

Se prepararon suspensiones de bacterias en tampón carbonato sódico (1,59 g de $Na_2CO_3$ y 2,93 g de $NaHCO_3$ por litro, pH 9,6), ajustando la absorbancia (λ 600 nm) entre 0,7 y 0,8 unidades.

Los tests se efectuaron en placas de poliestireno (Corning) usándose 4 pocillos para cada estirpe, conteniendo cada uno de ellos 200 μl de la suspensión correspondiente. Después de incubarlos durante 16 horas a 4°C en cámara húmeda, se eliminaron la suspensiones y las placas fueron lavadas con tampón de lavado (0,5 ml de Tween 20 por litro de PBS). Los pocillos se llenaron con 250 μl de solución de bloqueo (albúmina bovina al 1% en PBS) y se incubaron a 37°C durante 30 min. Se lavó tres veces cada placa y se añadió a cada pocillo 190 μl del antisuero correspondiente diluído 10.000 veces en PBS y se incubó durante 1 hora a 37°C. Tras lavar las placas se añadió a cada pocillo 190 μl de inmunoglobulina de cabra anti-IgG de conejo conjugada con fosfatasa alcalina (Sigma Immuno Chemical) diluída 20.000 veces en PBS. Tras una nueva incubación durante 1 hora a 37°C, se lavaron las placas, y se añadieron 200 μl de sustrato soluble para fosfatasa alcalina (pNPP, Sigma), manteniéndose la reacción 40 minutos en oscuridad a temperatura ambiente. Se paró la reacción añadiendo 50 μl de NaOH 3 M a cada pocillo, midiéndose seguidamente la absorbancia a 450 nm. Como control se emplearon cuatro pocillos por placa con tampón carbonato. El porcentaje de homología con la estirpe de referencia se determinó como:

siendo: **X** la media de la absorbancia de los cuatro pocillos de cada muestra, **Y** la media de la

$$\%\,homología = \frac{X-Y}{Z-Y} \times 100$$

absorbancia de los cuatro pocillos control y **Z** la media de la absorbancia de los cuatro pocillos de la estirpe de referencia.

## 3 RESULTADOS

Un estudio preliminar sobre la variabilidad de los resultados, utilizando como antígeno preparaciones de *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)* BGA-1 y su suero homólogo, reveló que cualquier diferencia inferior a $\pm$ 10 por ciento de homología, debe ser considerada como no significativa.

La Figura 1 muestra los resultados de los tests ELISA efectuados con el antisuero producido frente a la estirpe BGA-1 y preparaciones antigénicas de las diferentes bacterias, sometidas a distintos ciclos sucesivos de congelación a -80°C y descongelación durante 2 horas. Las estirpes pueden ser agrupadas en dos clases: por un lado, aquéllas (BTA-5, BTA-7, BTA-3 y *R. meliloti*) cuya homología con BGA-1 no experimentó variaciones significativas, y por otro, las estirpes BRE-1, BTA-8, BTA-4 y BCO-4, cuya homología aparente con la estirpe de referencia disminuyó significativamente.

Por el contrario, cuando se utilizó como estirpe de referencia BTA-1 (para lo que se usó el suero obtenido frente a ella), el cambio observado fue un incremento en la homología aparente de las estirpes BRE-1 y BTA-3 congeladas a -80°C. La congelación de las muestras a -20°C se tradujo en un mayor incremento de las señales y en el aumento del número de estirpes que lo experimentó (Tabla I).

**Figura 1**. Efecto de los ciclos de descongelación-congelación previos a la preparación de la muestra en la homología con *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)* BGA-1 determinada por ELISA de diferentes aislados de bacterias del género *Bradyrhizobium* y de *Rhizobium meliloti* 1021 (R.m.). Los datos son la media de cuatro determinaciones ± la desviación estándar.

Dado que cabía la posibilidad de que las suspensiones bacteriana en tampón carbonato fueran más estables que las bacterias congeladas, se efectuó un experimento consistente en preparar suspensiones en dicho tampón y conservarlas durante 0, 1 ó 7 días a 4 y -20°C, para analizarlas por ELISA frente al suero específico para la estirpe BGA-1. Los resultados se muestran en la Figura 2, e indican que las suspensiones bacterianas así conservadas también experimentaron una alteración significativa de su reactividad, tanto en la reacción homóloga como en las heterólogas.

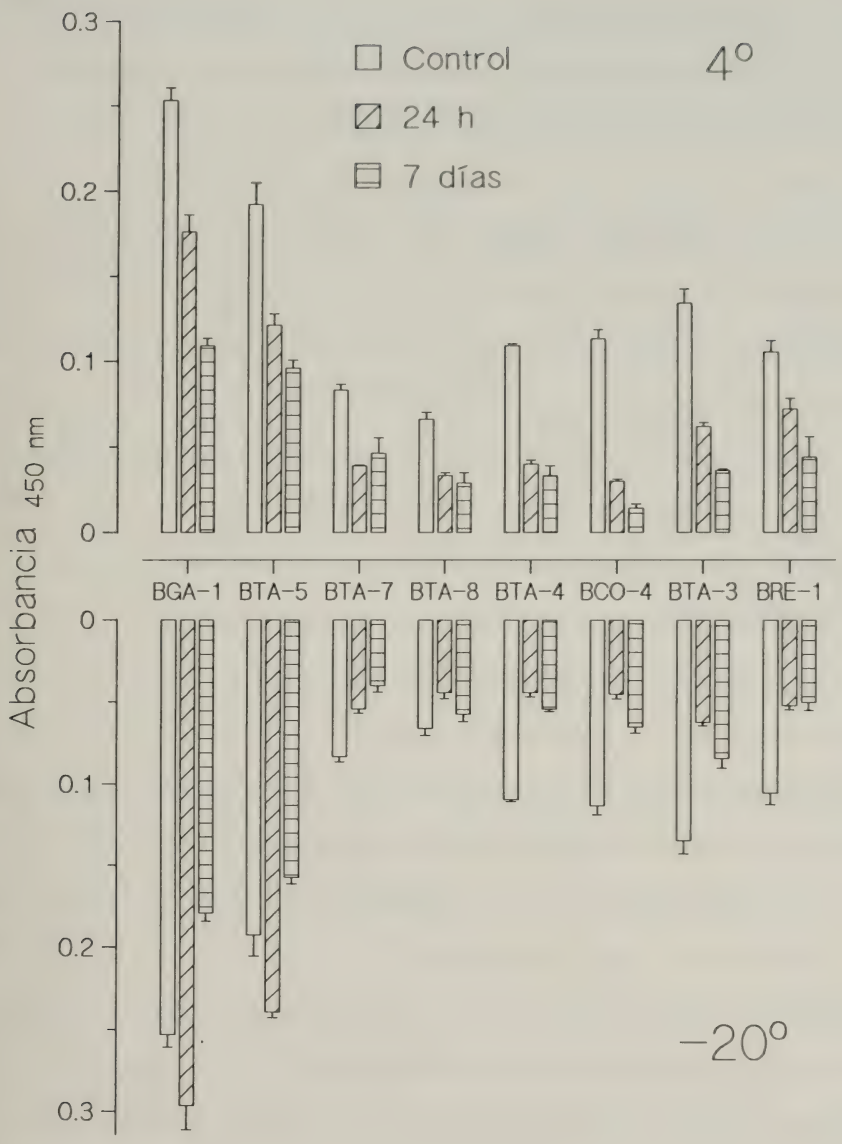


**Figura 2.** Efecto de la conservación de las suspensiones bacterianas a 4° y -20°C en tampón bicarbonato sobre la intensidad de la reacción con antisuero desarrollado contra *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)* BGA-1 medida por ELISA. Para el control se prepararon las placas de ELISA inmediatamente después de preparar las suspensiones de las bacterias. Los datos son la media de cuatro determinaciones ± la desviación estándar.

TABLA I Efecto del almacenamiento y del número de ciclos de congelación-descongelación previos a la preparación de la muestra de diversas estirpes de *Bradyrhizobium* y de *Rhizobium meliloti* 1021 (R.m) sobre el porcentaje de homología medido por ELISA con *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)* BTA-1.

| | Conservadas a -80°C, 4 meses | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | BRE-1 | BTA-3 | BTA-4 | BTA-5 | BTA-7 | BCO-4 | R.m |
| 1 ciclo | 28 | 17 | 37 | 25 | 28 | 20 | 4 |
| 3 ciclos | 43 | 33 | 35 | 27 | 25 | 28 | 8 |
| | Conservadas a -20°C, 30 meses | | | | | | |
| | BRE-1 | BTA-3 | BTA-4 | BTA-5 | BTA-7 | BCO-4 | R.m |
| 2 ciclos | 56 | 33 | 92 | 48 | 93 | 37 | ND |
| 3 ciclos | 76 | 66 | 96 | 70 | 85 | 45 | ND |

ND, no determinado

## 4 DISCUSION

Los resultados mostrados en este trabajo indican que la reacción entre los antígenos bacterianos y los sueros utilizados varía en función de ciclos de congelación-descongelación y también de la temperatura de conservación de las muestras.

Dado que en este trabajo se han utilizado anticuerpos policlonales, no es posible identificar de forma inequívoca la naturaleza de los antígenos responsables de su unión a las bacterias. De los tres tipos principales de antígenos superficiales de las bacterias Gram negativas, los flagelares (H), los capsulares (K) y los lipopolisacáridos de la pared celular (O), cabe descartar a los primeros como importantes en la interacción aquí estudiada, ya que la centrifugación y el tratamiento térmico al que se someten las bacterias para inducir la producción de antisueros debe ser suficiente para eliminarlos [8]. Los antígenos K participan en alguna medida en la reacción, a pesar de que las bacterias fueron lavadas varias veces. En efecto, los dos antisueros empleados

se unieron a los exopolisacáridos purificados de *Bradyrhizobium (Chamaecytisus)* BGA-1, BTA-1 y BRE-1 (datos no mostrados). Por último, los antígenos O son considerados como los principales componentes inmunogénicos de la membrana externa de las bacterias Gram negativas en general y, en concreto, de los rizobios [6]. Ahora bien, no parece justificado atribuir las variaciones en ELISA observadas a cambios estructurales en dichos antígenos, ya que por su naturaleza química deben ser estables frente a los tratamientos relativamente suaves a los que se vieron sometidas las muestras en este estudio. Por ello, cabe suponer que los responsables de estos cambios de reactividad en ELISA sean otros antígenos más lábiles, como por ejemplo las proteínas de la membrana externa, o bien antígenos somáticos solubles que, de hecho, suelen presentar mayor reactividad cruzada entre estirpes o especies que los lipopolisacáridos [8, 5, 6].

Los resultados presentados muestran que ni el almacenamiento de las bacterias aisladas ni el de las suspensiones bacterianas garantizan la consistencia en la determinación de la homología serológica entre las bacterias del género *Bradyrhizobium* estudiadas por nosotros, ya que se obtuvieron resultados muy variables en función de la historia de las muestras. Por ello, este tipo de estudio debe ser realizado con muestras recién cultivadas, ya que su almacenamiento (incluída la congelación) produce artefactos que alteran significativamente los resultados, sin que sea posible predecir la naturaleza o magnitud de esta alteración.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Dirección General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias

[1] BERGER, J.A., MAY, S.N., BERGER, L.R. y BOHLOOL, B.B. (1979), Appl. Environ. Microbiol., **37**, 642-646.

[2] DUDMAN, W.F. (1977), en: *A treatise on dinitrogen fixation, section IV*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[3] GUTIERREZ-NAVARRO, A.M., LEON-BARRIOS, M.A. y CORZO, J. (1993), Rev. Acad. Canar. Cienc., **V**, 59-115.

[4] LEON-BARRIOS, M., GUTIERREZ-NAVARRO, A.M., PEREZ-GALDONA, R. y CORZO, J. (1991), Soil Biol. Biochem., **23**, 487-489.

[5] SADOWSKY, M.J., BOHLOOL, B.B y KEYSER, H.H. (1987), Appl. Environ. Microbiol., **53**, 1785-1789.

[6] SHINDU, S.S., BREWIN, N.J. y KANNENBERG, E.L. (1990), J. Bacteriol., **172**, 1804-1813.

[7] SIVERIO, F., CAMBRA, M., GORRIS, M.T., CORZO, J. y LOPEZ, M.M. (1993), Appl. Environ. Microbiol., **59**, 1805-1812.

[8] SOMASEGARAN, P. y HOBEN, H.J. (1994), en: *Handbook for Rhizobia*, Springer-Verlag, New York.

[9] VINCENT, J.M. (1970), en: *A manual for the Practical Study of the Root Nodule de Bacteria*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 65-75 (1994)

# SOBRE LA DISTRIBUCION Y EL HABITAT DEL BUHO CHICO *ASIO OTUS CANARIENSIS* (MADARASZ, 1901) EN LA ISLA DE LA PALMA, CANARIAS (AVES: STRIGIDAE)

R. Barone *, F. Siverio ** y D. Trujillo ***

* C/ Eduardo Zamacois, 13-3º A, 38005 Sta. Cruz de Tenerife.

** Rodelundvej 12, Rodelund, 8653 Them, Dinamarca.

*** C/ El Durazno, 47, 38400 Pto. de la Cruz, Tenerife.

ABSTRACT

In this paper data on the distribution and habitat of the Long-eared Owl (*Asio otus canariensis*) on La Palma, Canary Islands, are presented. The species is widespread and fairly common on this island, from sea level upto at least 1300 m a.s.l., occupying a variety of habitats: lowland xerophitic scrub, transitional areas, cultivations, gorges, and laurel and canary pine forests, but principally within the altitudinal range of 0-400 m, where xerophitic and thermophyllous vegetation types dominate. This situation is very similar to that found on the other western islands (El Hierro, La Gomera, Tenerife and Gran Canaria), but quite different from other parts of the Western Palearctic Region (e.g. Europe).

**Key words:** *Asio otus canariensis*, Aves, distribution, habitat, La Palma, Canary Islands.

RESUMEN

En este trabajo se aportan datos sobre la distribución y el hábitat del Búho Chico (*Asio otus canariensis*) en La Palma, Islas Canarias. La especie es común y está ampliamente distribuida en esta isla, desde el nivel del mar hasta al menos 1300 m s.n.m., ocupando una gran variedad de hábitats: vegetación de piso basal, zonas termófilas, cultivos, barrancos y bosques de monteverde y pinar, pero principalmente dentro del intervalo altitudinal de 0-400 m, donde dominan tipos de vegetación xéricos y termófilos. Esta situación es muy similar a la observada en el resto de las islas occidentales del archipiélago (El Hierro, La Gomera, Tenerife y Gran Canaria), pero bastante diferente de otras regiones del Paleártico Occidental (p. ej. Europa).

**Palabras clave:** *Asio otus canariensis*, Aves, distribución, hábitat, La Palma, Islas Canarias.

## 1. INTRODUCCION

La distribución mundial del Búho Chico (*Asio otus*) abarca la mayor parte de Europa, Norteamérica, algunos sectores de Asia, el Noroeste de África y diversas zonas del África Central y Oriental (MIKKOLA [16]; CRAMP [7]).

En los archipiélagos macaronésicos, está presente tan sólo en las Islas Azores, donde se halla la subespecie nominal (BANNERMAN & BANNERMAN [3]; CRAMP [7]) y en Canarias, representado por la raza endémica *A. o. canariensis*. Además, ha sido citado para Madeira por GODMAN [12] como accidental, si bien BANNERMAN & BANNERMAN [2] lo ponen en duda. En Canarias se distribuye por todas las islas centro-occidentales, es decir, Gran Canaria, Tenerife, La Gomera, La Palma y El Hierro (MARTIN [14]; EMMERSON *et al.* [11]), donde se le considera sedentario.

Hasta la fecha, los conocimientos sobre el Búho Chico en la región son más bien escasos, remitiéndose mayormente a una serie de aportaciones sobre su dieta (REY [24]; MORENO *et al.* [18]; DELGADO *et al.* [9]; NOGALES *et al.* [22]; RODRIGUEZ [26]; CARRILLO *et al.* [5]; TRUJILLO *et al.* [32]; MORENO [17]) y, en menor medida, a otros aspectos como la nidificación (MEADE-WALDO [15]; BANNERMAN [1]; MARTIN [14]; NOGALES & HERNANDEZ [20]; NOGALES *et al.* [21]; BARONE & BAUTE [4]; TRUJILLO [31]; SIVERIO & BARONE [28]; MORENO [17]), la distribución insular y el estatus (MARTIN [14]; DELGADO *et al.* [10]) y el comportamiento (SIVERIO & ACOSTA [27]; SIVERIO & SIVERIO [29]).

## 2. ANTECEDENTES

A pesar de que la isla de La Palma ha sido visitada por diversos ornitólogos desde mediados del siglo pasado, muy pocos aportan información concreta sobre la

presencia de la especie.

La primera cita la proporciona POLATZEK [23], en base a datos obtenidos en octubre de 1902 y mayo de 1903. MORPHY [19] observó dos individuos en agosto de 1963, uno en Barlovento y otro en las afueras de Los Sauces, mencionando además la captura de un ejemplar por parte de un cazador local. CUYAS ROBINSON [8] vio un ave naturalizada en Los Llanos de Aridane y dos individuos expuestos en el Museo de La Cosmológica de Santa Cruz de La Palma. Más recientemente, DELGADO *et al.* [10], con motivo de la realización de un censo de aves rapaces en el archipiélago, ofrecen datos referentes a varias zonas de la isla. Por último, TRUJILLO [31] constata la reproducción de la especie en diferentes localidades enclavadas principalmente en la vertiente norte.

Con el presente trabajo pretendemos contribuir al estudio de *Asio otus* en el Archipiélago Canario, centrándonos en su distribución y hábitat en la isla de La Palma.

## 3. MATERIAL Y METODOS

Los datos tenidos en cuenta en este trabajo fueron recopilados principalmente en el período comprendido entre el 13 y el 23 de junio de 1990, con motivo de la realización de prospecciones metódicas (sobre todo escuchas nocturnas) específicas para la localización de estrigiformes por gran parte de la isla objeto de estudio. De forma adicional, se incluyen registros obtenidos en julio de 1988, junio de 1991, mayo-junio de 1993 y de nuevo mayo-junio de 1994, basados mayormente en detecciones nocturnas. En el trabajo de campo se utilizó la cartografía UTM (escalas 1:50.000 y 1:100.000) del Servicio Geográfico del Ejército.

Los muestreos de junio de 1990 consistieron en estaciones de escucha de 10-

30 minutos de duración, repartidas por la mayor parte de las cuadrículas de 5 x 5 km (UTM) de la isla, las cuales comenzaban generalmente después de las 21.00 hora solar, finalizando siempre avanzada la medianoche. El resto de los datos fueron obtenidos de forma dispersa a raíz de distintos recorridos nocturnos llevados a cabo en plena época de cría. Indudablemente, el haber realizado las prospecciones al final de dicha época, permitió un alto índice de detectabilidad de la especie, ya que, como es bien conocido, las voces emitidas por los pollos volanderos son muy distintivas y perfectamente audibles a cierta distancia (MIKKOLA [16]; CRAMP [7]).

## 4. RESULTADOS

El Búho Chico se distribuye por la mayor parte de la isla de La Palma, siendo una especie común y ocupando todas las vertientes en un rango altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 1300 m; esta cota constituye por el momento su límite superior de presencia. De un total de 33 cuadrículas (de 5 x 5 km) prospectadas, hemos hallado la especie en 24 de ellas, lo que supone un éxito de detectabilidad del 72,7 %. Además, hay que considerar otras dos unidades en las que DELGADO *et al.* [10] obtuvieron sendos contactos, las cuales aparecen reflejadas también en el mapa de distribución (ver fig. 1).

Es interesante resaltar que en 23 de las 26 cuadrículas con presencia de Búho Chico, los registros (88,4 %) correspondieron a pollos -supuestamente volanderos- solicitando alimento. Evidentemente, la especie debe presentar un areal más amplio en la isla, como sin duda resultaría al realizar prospecciones de mayor intensidad repartidas por aquellas cuadrículas con resultado negativo (ver fig. 1).

Los hábitats ocupados por esta especie son muy variados, aunque se aprecia una notoria ligazón a la franja altitudinal entre 0-800 m, donde se han registrado 52

de los 56 contactos obtenidos, y más aún al rango de 0-400 m, en el que se incluyen 38 contactos, el 67,8 % del total (ver tabla I). En concreto, los ecosistemas óptimos para su habitabilidad -teniendo en cuenta la supuesta mayor disponibilidad de presas y de lugares adecuados para la nidificación- son los barrancos del piso basal y las medianías, las áreas cultivadas y, dentro de los zonales, el cardonal-tabaibal y la vegetación termófila. En los bosques de monteverde (laurisilva y fayal-brezal) y pinar parece ser bastante escaso, más aún en las formaciones de *Pinus canariensis* de la zona central de la isla (Caldera de Taburiente), de donde existen muy pocos datos (G. Delgado y otros, com. pers.). La vegetación de alta montaña típica de las cumbres insulares -que se desarrolla a partir de los 2000 m s.m.-, caracterizada por la abundancia de una leguminosa (*Adenocarpus viscosus*), es a primera vista inadecuada para el establecimiento de esta rapaz nocturna, debido quizás al tipo de cobertura y a otros factores como la fluctuación de los recursos tróficos, consecuencia de la rigurosidad climática existente a tales altitudes.

En conclusión, los termotipos y zonobioclimas en los que se sitúan los hábitats ocupados por *A. otus* en La Palma, siguiendo la clasificación elaborada para Tenerife por RIVAS-MARTINEZ *et al.* [25], son: inframediterráneo xerofítico, termomediterráneo xerofítico y termomediterráneo mesofítico, aunque adquieren una mayor importancia los dos primeros.

## 5. DISCUSION

La situación descrita difiere muy poco de lo que se conoce sobre otras islas del archipiélago, tales como Gran Canaria (DELGADO *et al* [10]; TRUJILLO *et al.* [32]; MORENO [17]), El Hierro (DELGADO *et al* [10]) y Tenerife (MARTIN [14]; DELGADO *et al* [10]), si bien en esta última se ha citado alguna observación a más de 2000 m

s.m., en pleno dominio del matorral de *Spartocytisus supranubius* (MARTIN [14]), y por tanto dentro del termotipo y zonobioclima supramediterráneo mesofítico (ver RIVAS-MARTINEZ *et al.* [25]).

Con respecto a otras regiones, en el continente europeo el Búho Chico se establece sobre todo en áreas boscosas y zonas arbustivas, así como en arboledas de terrenos abiertos (MIKKOLA [16]), siendo localmente común en determinadas áreas (CRAMP [7]). En Italia, por ejemplo, nidifica en toda la península, desde el nivel del mar hasta los 700 m s.m. (CHIAVETTA [6]). En Gran Bretaña, una gran proporción de los enclaves de nidificación están situados en lugares marginales, con un porcentaje significativo de nidos entre los 305 y 533 m de altitud (CRAMP [7]). En Marruecos ocupa distintos tipos de matorrales y ecosistemas forestales, incluyendo sabinares y plantaciones de *Eucalyptus* spp., llegando a alcanzar los 1600 m s.m. en el Atlas (THEVENOT *et al.* [30]). A mayor altitud asciende en Armenia (2750 m) e incluso en Asia Central (CRAMP [7]). En cuanto a ambientes insulares, es interesante destacar el caso de la isla de Mallorca (Baleares), donde estudios recientes -utilizando una metodología similar a la del presente trabajo- han demostrado que se trata de un ave ampliamente distribuida y relativamente común, hallándose tanto en zonas arboladas como en áreas abiertas (VIADA [33]). Todo ello demuestra la versatilidad de *A. otus* y su adaptación a los más diversos ecosistemas, desde los predominantemente forestales de tipo templado-boreal que ocupa en Europa y Norteamérica (ver MIKKOLA [16] y CRAMP [7]) a los más termófilos y xéricos del Norte de África (ver THEVENOT *et al.* [30]) y Canarias (BANNERMAN [1]; MARTIN [14]; DELGADO *et al.* [10]; presente estudio).

## 6. AGRADECIMIENTOS

Hemos de agradecer especialmente la ayuda prestada por G. Delgado, quién realizó la revisión crítica del presente trabajo, y por el Dr. J. J. Bacallado, que nos apoyó en todo momento. Agradecemos también la colaboración de J. A. Lorenzo en la recogida de los datos correspondientes al mes de julio de 1988, y de K. W. Emmerson, que tradujo el resumen al inglés.

## 7. BIBLIOGRAFIA

[1] BANNERMAN, D.A. (1963): *Birds of the Atlantic Islands. Vol. I. A History of the Birds of the Canary Islands and of the Salvages*. Oliver & Boyd. Edinburgh & London. 358 pp.

[2] BANNERMAN, D.A. & W.M. BANNERMAN (1965): *Birds of the Atlantic Islands. Vol. II. A History of the Birds of Madeira, the Desertas, and the Porto Santo Islands*. Oliver & Boyd. Edinburgh & London. 207 pp.

[3] BANNERMAN, D.A. & W.M. BANNERMAN (1966): *Birds of the Atlantic Islands. Vol. III. A History of the Birds of the Azores*. Oliver & Boyd. Edinburgh & London. 262 pp.

[4] BARONE, R. & M. BAUTE (1988): Búho Chico (*Asio otus*). Noticiario Ornitológico. *Ardeola* 35 (2): 310.

[5] CARRILLO, J., M. NOGALES, G. DELGADO & M. MARRERO (1989): Preliminary Data for a Comparative Study of the Feeding Habits of *Asio otus canariensis* on El Hierro and Gran Canaria, Canary Islands, pp. 451-457 (in): B.-U. MEYBURG & R.D. CHANCELLOR (eds.), *Raptors in the Modern World*. Proc. III World Conf. Birds of Prey and Owls. Eilat, Israel. March 1987.

[6] CHIAVETTA, M. (1988): *Guida ai rapaci notturni. Strigiformi d´Europa, Nord Africa e Medio Oriente*. Zanichelli. Bologna. 189 pp.

[7] CRAMP, S. (ed.) (1985): *The Birds of the Western Palearctic*. Vol. IV. Oxford University Press. 960 pp.

[8] CUYAS ROBINSON, J. (1971): Algunas notas sobre aves observadas en tres visitas a las Islas Canarias (1964 y 1967). *Ardeola* Vol. especial: 103-153.

[9] DELGADO, G., V. QUILIS, A. MARTIN & K. EMMERSON (1986): Alimentación del búho chico (*Asio otus*) en la isla de Tenerife y análisis comparativo con la dieta de *Tyto alba*. *Doñana, Acta Vertebrata*, 13: 87-93.

[10]DELGADO, G., N. TRUJILLO, J. CARRILLO, F. SANTANA, V. QUILIS, M. NOGALES, O. TRUJILLO, K. EMMERSON & E. HERNANDEZ (1988): Censo de las aves rapaces del Archipiélago Canario. Museo Insular de Ciencias Naturales de Santa Cruz de Tenerife. Informe no publicado. 555 pp.

[11]EMMERSON, K., A. MARTIN, J.J. BACALLADO & J.A. LORENZO (1994): *Catálogo y bibliografía de la avifauna canaria*. Museo de Ciencias Naturales, O.A.M.C. Cabildo de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife. 86 pp.

[12]GODMAN, F. du C. (1872): Notes on the Resident and Migratory Birds of Madeira and the Canaries. *Ibis* 3 (2): 158-177 y 209-224.

[13]IBAÑEZ, M. & M.R. ALONSO (1990): La proyección U.T.M.: su aplicación al estudio de la fauna y flora canaria. *Homenaje al Prof. Dr. Telesforo Bravo, tomo I:* 453-470.

[14]MARTIN, A. (1987): *Atlas de las aves nidificantes en la isla de Tenerife*. Instituto de Estudios Canarios, Monografía XXXII. Tenerife. 275 pp.

[15]MEADE-WALDO, E.G.B. (1890): Further notes on the Birds of the Canary Islands. *Ibis* 6 (2): 429-438.

[16]MIKKOLA, H. (1983): *Owls of Europe*. T & AD Poyser. Calton. 397 pp.

[17]MORENO, M. (1993): *El Búho Chico en Gran Canaria. Alimentación y Discusión Metodológica*. Ediciones del Cabildo Insular de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. 99 pp.

[18]MORENO, M., O. TRUJILLO & G. DIAZ (1984): Presencia de reptiles en la dieta de *Asio otus canariensis* (Madar) en Gran Canaria (Islas Canarias). *Rapinyaires Mediterranis* 2: 265-267.

[19]MORPHY, M.J. (1965): Some birds of Northeast La Palma, Canary Islands, August-September 1963. *Ibis* 107 (1): 97-100.

[20]NOGALES, M. & E.C. HERNANDEZ (1988): Nidification du Hibou moyen-duc des Canaries *Asio otus canariensis* sur un Pin canarien à l'île de El Hierro. *Alauda* 56 (3): 269.

[21]NOGALES, M., G. DELGADO & A. QUINTERO (1988): Premières données sur la nidification d'*Asio otus canariensis* dans des nids de *Corvus corax* et d'*Accipiter nisus*, El Hierro (îles Canaries). *L'Oiseau et R.F.O.* 58 (2): 160-161.

[22]NOGALES, M., C. SUAREZ & G. DIAZ (1986): Pinzón del Teide (*Fringilla teydea*). Presencia de *Fringilla teydea polatzeki* en egagrópilas de *Asio otus*. Noticiario Ornitológico. *Ardeola* 33 (1-2): 213.

[23]POLATZEK, J. (1908): Die Vögel der Canaren. *Orn. Jahrb.* 19 (5-6): 161-197.

[24]REY, J.M. (1975): Notas sobre la alimentación de *Asio otus canariensis* en Tenerife (Canarias). *Ardeola* 21 (Vol. especial): 415-420.

[25]RIVAS-MARTINEZ, S., W. WILDPRET, T.E. DIAZ, P.L. PEREZ de PAZ, M. del ARCO & O. RODRIGUEZ (1993): Excursion guide. Outline vegetation of Tenerife Island (Canary Islands). *Itinera Geobotanica* 7: 5-167.

[26]RODRIGUEZ, F. (1987): Aportaciones a la dieta de *Asio otus canariensis* (Madarász, 1901) en una localidad de Gran Canaria (Islas Canarias). *Ardeola* 34 (1): 99-102.

[27]SIVERIO, F. & P.F. ACOSTA (1993): Aggressive display by Long-eared Owl towards Common Buzzard. *Brit. Birds* 86 (4): 183.

[28]SIVERIO, F. & R. BARONE (1989): Búho Chico (*Asio otus*). Noticiario Ornitológico. *Ardeola* 36 (2): 256.

[29]SIVERIO, F. & M. SIVERIO (1993): Búho Chico (*Asio otus*). Noticiario Ornitológico. *Ardeola* 40 (1): 99.

[30]THEVENOT, M., P. BERGIER & P. BEAUBRUN (1983): Répartition actuelle et statut des rapaces nocturnes au Maroc. *Bièvre* 5 (1): 27-39.

[31]TRUJILLO, D. (1989): Búho Chico (*Asio otus*). Noticiario Ornitológico. *Ardeola* 36 (2): 256.

[32]TRUJILLO, O., G. DIAZ & M. MORENO (1989): Alimentación del Búho Chico (*Asio otus canariensis*) en Gran Canaria (Islas Canarias). *Ardeola* 36 (2): 193-198.

[33]VIADA, C. (1994): Recatalogación y estatus del Búho Chico (*Asio otus*) en Mallorca. *Ardeola* 41 (1): 59-62.

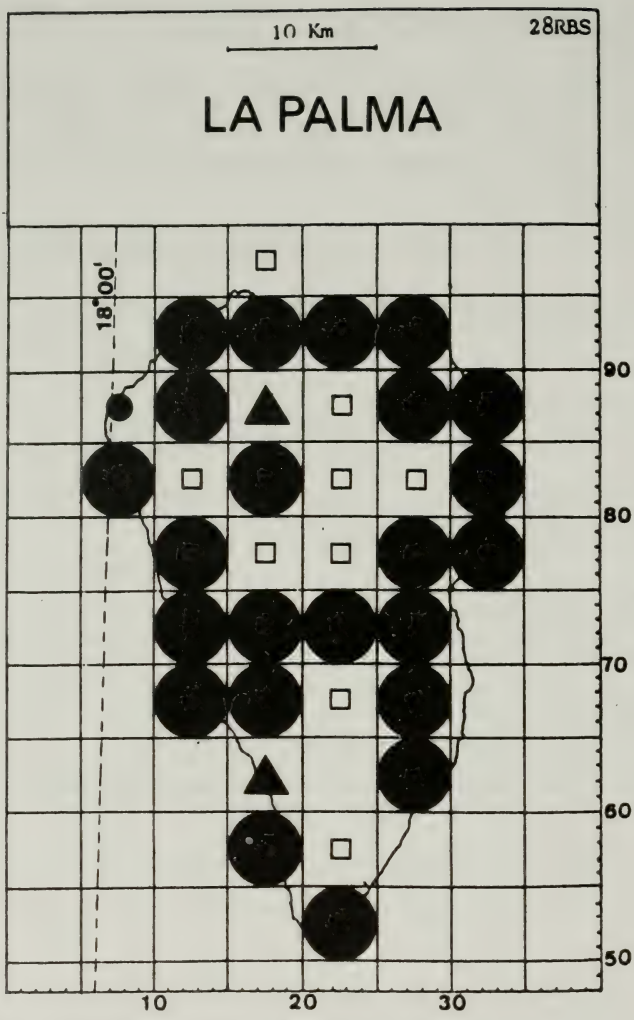


**Figura 1:** Distribución del Búho Chico (*Asio otus canariensis*) en la isla de La Palma, en base a los datos obtenidos en el período 1988-1994. (Reticulado UTM de 5 x 5 km, tomado de IBAÑEZ & ALONSO, 1990).

Símbolos empleados:

● = Cuadrículas con nidificación segura (escuchas de pollos). (N=23).

● = Cuadrículas con nidificación posible (observación de ave en vuelo). (N=1).

▲ = Cuadrículas adicionales con nidificación probable (tomadas de DELGADO *et al.* (10)). (N=2).

□ = Cuadrículas prospectadas con resultado negativo. (N=9).

**Tabla I:** Distribución altitudinal de los contactos de Búho Chico (*Asio otus canariensis*) obtenidos en La Palma (N=56) en intervalos de 200 m. (Basado en información recopilada entre 1988 y 1994).

| Altitud (m) | Nº de contactos |
|---|---|
| 0-200 | 18 |
| 200-400 | 20 |
| 400-600 | 6 |
| 600-800 | 8 |
| 800-1000 | 1 |
| 1000-1200 | 2 |
| 1200-1400 | 1 |

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 77-98 (1994)

# APROXIMACIÓN AL NÚMERO DE TAXONES DE LA FLORA VASCULAR SILVESTRE DE LOS ARCHIPIÉLAGOS MACARONÉSICOS

F. La Roche* y J.C. Rodríguez-Piñero**

* Dpto. de Análisis Matemático. Universidad de La Laguna. Tenerife.

** Viceconsejería de Medio Ambiente. Avda. F. La Roche 35, 6ª P.. Santa Cruz de Tenerife.

## ABSTRACT

The present paper shows an approximation to the quantification of the vascular wild flora of the Macaronesian Archipelagos, according with different taxonomics levels. It gives the number of common taxa of each pair of islands. Using multivariant analysis floristic similarities between the islands are given.

*Keywords*: Floristic quantification, floristic similarity, island, endemic plants, Macaronesia.

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una aproximación a la cuantificación de la flora vascular silvestre de las islas de los archipiélagos macaronésicos, de acuerdo con los distintos niveles taxonómicos. Se determina el número de taxones comunes entre cada par de islas. Por último, se establecen, mediante un análisis matemático, similitudes florísticas entre las islas.

*Palabras claves*: Cuantifiación florística, similitud florística, islas, plantas endémicas, Macaronesia.

## INTRODUCCIÓN

La cuantificación de la flora macaronésica ha sido tratada en los últimos años por diferentes autores desde un punto de vista insular, archipelágico y regional (HUMPHRIES [5]; KUNKEL [6]; SANTOS [8]; DE NICOLÁS, FERNÁNDEZ-PALACIOS, FERRER & NIETO [2]; ARCO AGUILAR [1]; MALATO-BELIZ [7]; HANSEN y SUNDING [3,4]; VIEIRA [9], etc.). Sin embargo, los resultados expuestos por estos autores presentan a veces importantes variaciones entre islas y archipiélagos, no quedando explicitado, en algunos casos, a qué nivel taxonómico se realizó la cuantificación.

En este trabajo presentamos una aproximación a la cuantificación de la flora vascular silvestre de los archipiélagos macaronésicos, usando como referencia el trabajo de HANSEN y SUNDING [4]. También se tratan las relaciones florísticas que existen entre islas y archipiélagos.

## MATERIAL Y MÉTODO

Los datos contenidos en el catálogo florístico elaborado por HANSEN y SUNDING [4] fueron almacenados en una base de datos, lo que nos ha permitido realizar los cálculos con un mayor grado de precisión.

Hemos supuesto que si un determinado taxon es citado a nivel subespecie en una isla, el correspondiente taxon específico también existe en dicha isla y lo mismo si contiene alguna variedad. Por otra parte, si una especie contiene variedades, pero no asociadas a subespecies, hemos considerado que al menos se incluirán en la subespecie tipo. Así, los datos que figuran en las tablas para el nivel específico incluyen todas las especies que contienen o no subespecies o variedades; el nivel subespecífico abarca todas las especies que no contienen ninguna subespecie o variedad, todas las subespecies con o sin variedad, o todas las especies con variedades; el nivel variedad representa todas las especies que no contienen ni subespecie ni variedad, todas las subespecies que

no contienen variedades, y todas las variedades. Los híbridos no han sido tenidos en cuenta en el balance total de especies.

Para ilustrar los criterios expuestos anteriormente y su aplicación a la forma en que se realizaron los conteos, se expone a modo de ejemplo el siguiente esquema :

| TAXON | E | S | V |
|---|---|---|---|
| Especie 1 | * | * | * |
| Especie 2 | * | | * |
| Subespecie | | * | |
| Especie 3 | * | * | |
| Variedad 1 | | | * |
| Variedad 2 | | | * |
| Especie 4 | * | | |
| Subespecie 1 | | * | * |
| Subespecie 2 | | * | |
| Variedad | | | * |
| Subespecie 3 | | * | |
| Variedad 1 | | | * |
| Variedad 2 | | | * |
| TOTAL | 4 | 6 | 8 |

donde "E "representa el número total de especies, "S" el de subespecies y " V" el de variedades.

Los dendrogramas de similitud florística fueron obtenidos usando el índice de Jaccard.

En el presente trabajo se entiende por endemismo insular todos aquellos taxones (especie, subespecie y variedad) que viven solamente en una isla. Consideramos endemismo archipelágico a los insulares más los compartidos con otras islas del mismo archipiélago. Finalmente, como endemismos macaronésicos a aquellos taxones que están exclusivamente en dos o más archipiélagos.

La flora vascular silvestre de las Islas Macaronésicas contabiliza un total de 3.081 especies de las que 831 son exclusivas de esta región. Por archipiélagos, Canarias es el que mayor número de taxones alberga (1.978 especies) de las cuales 514 son endémicas canarias (tablas I, II, III, IV, V, VI). No existe ninguna especie endémica que viva en todos los archipiélagos; sólo dos especies (*Dracaena draco y Asparagus scoparius*) viven en cuatro de ellos, y solamente tres especies no endémicas crecen en todas las islas (*Chenopodium murale, Solanum nigrum y Cynodon dactylon*). En las Figs. 1, 2, 3, 4 y 5 se muestra el total de taxones por islas y archipiélagos, así como el de especies endémicas comunes. También se presenta la relación florística entre cada par de islas macaronésicas (tabla VII).

Se han obtenido los dendrogramas en base a un análisis de agrupamiento, usando el índice de Jaccard (J) de presencia-ausencia para el conjunto de las 30 islas macaronésicas en los siguientes casos: conjunto de los géneros (Fig.6), total de especies (Fig.7), todas las endémicas (Fig. 8) y, por último, las anteriores más las especies que contengan subespecies o variedades endémicas (Fig. 9).

Del análisis de estos dendrogramas podemos observar que, utilizando las especies endémicas o aquellas que contengan subespecies o variedades endémicas, el Archipiélago de Cabo Verde es el más diferenciado florísticamente, mientras que Canarias y Madera ofrecen la mayor similitud, en tanto que a nivel insular son las islas de Pico y Tercera las más similares. Por otra parte, usando solamente especies endémicas resulta que Azores es el archipiélago más disimilar de todos, siendo las islas Fayal y Tercera las más próximas. Son estos dos últimos agrupamientos los que nos parecen más significativos para explicar la realidad florística de estas islas, especialmente el que analiza las especies endémicas más las que contienen subespecies y variedades endémicas.

Uno de los propósitos de este trabajo, además de aportar una serie de cifras que nos muestran el grado de diversidad vegetal que existe en un territorio en un momento determinado, es el de llamar la atención sobre la necesidad de especificar con claridad el nivel taxonómico elegido a la hora de cuantificar la flora, en particular cuando se trata de número de endemismos, ya que raramente se especifica en las publicaciones consultadas, el nivel taxonómico al que corresponden las cifras aportadas.

Haciendo un análisis de los datos citados por los diferentes autores que han trabajado sobre la cuantificación de la flora canaria o macaronésica observamos que, en el trabajo de NICOLÁS [2], las cantidades recogidas se asemejan bastante a las obtenidas por nosotros para el nivel taxonómico especie, utilizando el catálogo publicado por HANSEN Y SUNDING [3] en el año 1985, con la excepción de Gran Canaria y Tenerife en el que el error oscila entre un 3-5 %, a menos de que se haya contabilizado para estas islas el nivel de variedad.

Las cifras aportadas por MALATO-BELIZ [7] parecen indicar que utiliza el nivel taxonómico especie cuando habla del número de plantas vasculares totales y, en cambio, el de variedad cuando trata el número de endemismos. Con estas cifras procede a calcular los índices de endemicidad, mezclando especies y variedades, cuando parece más razonable usar la condición de que numerador y denominador reflejen iguales niveles taxonómicos. Al comparar las cifras expuestas por este autor con las obtenidas del catálogo de HANSEN Y SUNDING [3], observamos un notable incremento, en particular para los Archipiélagos de Azores y Cabo Verde, siendo estos valores para el nivel de especie y variedad respectivamente, en el conjunto de los archipiélagos el siguiente: Azores (165 y 5), Archipiélago de Madera junto con Salvajes (26 y 16), Canarias (3 y 33) y Cabo Verde (188 y -2).

Tanto este autor como HUMPHRIES [5] proceden a calcular cifras globales (por ejemplo para la Macaronesia) sumando las cifras parciales. Obsérvese en la tabla VI que los totales no son la suma de las parciales.

Los datos aportados por KUNKEL [6] para el archipiélago canario muestran que las cifras de lo que denomina endemismos locales -que en este trabajo recogemos como endemismos insulares- son similares a las obtenidas por nosotros usando el nivel variedad; en cambio, cuando se refiere a endemismos canarios no concuerda, dado que, al parecer, excluye de esta categoría a los endemismos insulares.

Los datos numéricos de SANTOS [8] referidos a endemismos canarios difieren significativamente de los obtenidos de HANSEN Y SUNDING [3], cualquiera que sea el nivel taxonómico utilizado (especie, subespecie o variedad). Dado que este autor es un buen conocedor de la flora canaria, estas discrepancias numéricas podrían indicar que hay que utilizar con precaución incluso las cifras del último catálogo de HANSEN Y SUNDING [4].

Nuestro objetivo se ha centrado en mostrar una relación de datos numéricos de los distintos niveles taxonómicos presentes en cada isla y archipiélago lo más aproximado a la realidad florística actual. Dado lo cambiante de esta realidad, se hace preciso contar con catálogos florísticos insulares que deberían revisarse con cierta periodicidad, de tal manera que permitan detectar los cambios sufridos por la flora en el tiempo. Un hecho a tener en cuenta en la elaboración de estos catálogos es si se debería o no incluir en los mismos especies que actualmente se consideran como asilvestradas, cuando realmente se comportan como especies exóticas cultivadas, dado que ello distorsiona la riqueza florística y dificulta la interpretación de los trabajos sobre similitudes florísticas entre islas.

BIBLIOGRAFÍA


1. ARCO AGUILAR, M DEL. 1989. El origen de la flora canaria. **Quercus** 41: 14-21.

2. DE NICOLÁS, J.P., J.M. FERNÁNDEZ-PALACIOS, F.J. FERRER & E. NIETO. 1989. Inter-island floristic similarities in the Macaronesian region. **Vegetatio** 84: 117-125.

3. HANSEN, A. & P. SUNDING. 1985. Flora of Macaronesia. Checklist of vascular plants. 3. revised edition. **Sommerfeltia** 1:1-176.

4. HANSEN A. & P. SUNDING 1993. Flora of Macaronesia. Checklist of vascular plants. 4. revised edition. **Sommerfeltia** 17: 1-295.

5. HUMPHRIES, C. J. 1979. Endemism and Evolution in Macaronesia. **In: Bramwell, D. (ed.). Plants and Islands, pp. 171-199**. Academic Press. London.

6. KUNKEL, G. 1980. **Die Kanarischen Inseln und ihre Pflanzenwelt.** Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. 184 pp.

7. MALATO-BELIZ, J. 1991. O factor endemismo na flora dos Arquipélagos Macaronésicos. **In: Eduardo Dias et al. (ed.) 1ªs Jornadas Atlânticas de Protecçao do Medio Ambiente, pp 251-257.** Secretaria Regional de do Turismo e Ambiente. Direcçao Regional de Ambiente. Angra do Heroismo.

8. SANTOS, A. 1988. Flora y Vegetación. **In Geografía de Canarias I, pp. 258-294.** Ed. Interinsular Canaria. Santa Cruz de Tenerife.

9. VIEIRA, R. 1992. **Flora da Madera o Interesse das Plantas Endémicas Macaronésicas.** Coleçao Naturaleza e Paisagem nº 11. Servicio Nacional de Parques, Reservas e Conservaçao da Naturaleza. Lisboa. 155 pp.

TABLA I

| TOTAL DE TAXONES EN EL ARCHIPIELAGO DE AZORES | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ISLA** | **E** | **S** | **V** | **EEM** | **SEM** | **VEM** | **EEA** | **SEA** | **VEA** | **EEI** | **SEI** | **VEI** | **X** | **XM** | **SUP** | **ALT** |
| STA. MARIA | 425 | 428 | 428 | 27 | 33 | 34 | 20 | 25 | 25 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 97 | 587 |
| S. MIGUEL | 694 | 706 | 706 | 51 | 62 | 65 | 38 | 47 | 48 | 1 | 1 | 1 | 16 | 1 | 757 | 1103 |
| TERCERA | 612 | 622 | 623 | 47 | 56 | 60 | 38 | 45 | 48 | 1 | 1 | 2 | 3 | 0 | 401 | 1021 |
| GRACIOSA | 320 | 322 | 322 | 14 | 18 | 18 | 11 | 14 | 14 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 61 | 402 |
| S. JORGE | 449 | 453 | 453 | 44 | 56 | 59 | 36 | 46 | 48 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 246 | 1053 |
| PICO | 523 | 530 | 530 | 46 | 57 | 60 | 38 | 47 | 48 | 0 | 1 | 1 | 9 | 4 | 446 | 2351 |
| FAYAL | 581 | 590 | 590 | 45 | 54 | 57 | 38 | 46 | 47 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 173 | 1043 |
| FLORES | 388 | 393 | 393 | 40 | 48 | 51 | 32 | 39 | 40 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 143 | 914 |
| CORVO | 297 | 300 | 300 | 39 | 45 | 45 | 33 | 38 | 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 718 |
| **AZORES** | 952 | 977 | 979 | 65 | 78 | 82 | 47 | 58 | 61 | | | | 25 | 5 | 2344 | |

TABLA II

| TOTAL DE TAXONES EN EL ARCHIPIELAGO DE MADERA | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ISLA** | **E** | **S** | **V** | **EEM** | **SEM** | **VEM** | **EEA** | **SEA** | **VEA** | **EEI** | **SEI** | **VEI** | **X** | **XM** | **SUP** | **ALT** |
| MADERA | 1157 | 1179 | 1197 | 172 | 190 | 206 | 106 | 118 | 128 | 77 | 85 | 94 | 16 | 8 | 728 | 1861 |
| DESIERTAS | 178 | 179 | 181 | 37 | 40 | 41 | 20 | 23 | 23 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 15 | 178 |
| PTO. SANTO | 441 | 448 | 449 | 52 | 60 | 61 | 28 | 34 | 35 | 6 | 8 | 9 | 1 | 0 | 69 | 517 |
| **MADERA** | 1202 | 1227 | 1247 | 182 | 202 | 219 | 113 | 127 | 138 | | | | 16 | 8 | 810 | |

TABLA III

| TOTAL DE TAXONES EN EL ARCHIPIELAGO DE SALVAJE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ISLA** | **E** | **S** | **V** | **EEM** | **SEM** | **VEM** | **EEA** | **SEA** | **VEA** | **EEI** | **SEI** | **VEI** | **X** | **XM** | **SUP** | **ALT** |
| **SALVAJES** | 97 | 99 | 99 | 22 | 25 | 26 | 5 | 8 | 12 | | | | 0 | 0 | 4 | (154) |

**LEYENDA TABLAS**

Total de especies (E)
Total de subespecies (S)
Total variedades (V)
Especies endémicas macaronésicas (EEM)
Subespecies endémicas macaronésicas (SEM)
Variedades endémicas macaronésicas (VEM)
Especies endemicas del archipiélago (EEA)
Subespecies endémicas del archipiélago (SEA)
Variedades endémicas del archipiélago (VEA)

Especie endémica insular (EEI)
Subespecie endémica insular (SEI)
Variedad endémica insular (VAR)
Híbridos (X)
Híbridos endémicos (XM)
Superficie de la isla (SUP)
Altitud máxima de la isla (ALT)

TABLA I V

| TOTAL DE TAXONES EN EL ARCHIPIELAGO DE CABO VERDE | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ISLA** | **E** | **S** | **V** | **EEM** | **SEM** | **VEM** | **EEA** | **SEA** | **VEA** | **EEI** | **SEI** | **VEI** | **X** | **XM** | **SUP** | **ALT** |
| S. ANTONIO | 502 | 506 | 527 | 62 | 73 | 87 | 53 | 59 | 72 | 7 | 11 | 16 | 3 | 0 | 779 | 1979 |
| S. VICENTE | 282 | 284 | 292 | 37 | 43 | 50 | 33 | 37 | 44 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 227 | 774 |
| STA. LUCIA | 66 | 66 | 67 | 11 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 | 325 |
| S. NICOLÁS | 329 | 333 | 342 | 47 | 57 | 62 | 42 | 48 | 52 | 5 | 6 | 7 | 1 | 0 | 343 | 1304 |
| SAL | 140 | 140 | 141 | 14 | 15 | 16 | 14 | 15 | 16 | 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 216 | 406 |
| BOAVISTA | 195 | 195 | 196 | 17 | 18 | 19 | 14 | 15 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 620 | 390 |
| MAYO | 204 | 204 | 204 | 13 | 14 | 14 | 11 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 269 | 436 |
| SANTIAGO | 448 | 450 | 463 | 44 | 53 | 59 | 39 | 44 | 49 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 991 | 1392 |
| FOGO | 387 | 387 | 399 | 51 | 57 | 67 | 43 | 46 | 55 | 4 | 5 | 8 | 1 | 0 | 476 | 2829 |
| BRAVA | 231 | 231 | 231 | 29 | 31 | 31 | 27 | 29 | 29 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 64 | 976 |
| **CABO VERDE** | 769 | 777 | 811 | 85 | 104 | 127 | 75 | 89 | 111 | | | | 4 | 0 | 4033 | |

TABLA V

| TOTAL DE TAXONES EN EL ARCHIPIELAGO CANARIO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ISLA** | **E** | **S** | **V** | **EEM** | **SEM** | **VEM** | **EEA** | **SEA** | **VEA** | **EEI** | **SEI** | **VEI** | **X** | **XM** | **SUP** | **ALT** |
| LANZAROTE | 608 | 615 | 629 | 84 | 96 | 107 | 65 | 75 | 86 | 12 | 15 | 19 | 2 | 1 | 846 | 670 |
| FUERTEVENTURA | 642 | 645 | 657 | 97 | 109 | 118 | 68 | 78 | 88 | 11 | 12 | 15 | 3 | 1 | 1660 | 807 |
| GRAN CANARIA | 1270 | 1301 | 1339 | 255 | 288 | 323 | 205 | 234 | 266 | 72 | 89 | 106 | 39 | 34 | 1560 | 1949 |
| TENERIFE | 1370 | 1406 | 1455 | 342 | 381 | 435 | 289 | 324 | 373 | 109 | 126 | 158 | 43 | 38 | 2034 | 3718 |
| LA GOMERA | 834 | 850 | 874 | 219 | 243 | 261 | 171 | 192 | 214 | 38 | 52 | 65 | 16 | 13 | 370 | 1487 |
| LA PALMA | 820 | 830 | 842 | 219 | 238 | 252 | 170 | 184 | 191 | 40 | 47 | 52 | 18 | 17 | 708 | 2426 |
| EL HIERRO | 598 | 602 | 612 | 156 | 171 | 181 | 113 | 125 | 134 | 11 | 16 | 17 | 4 | 4 | 269 | 1500 |
| **CANARIAS** | 1978 | 2073 | 2186 | 575 | 665 | 776 | 514 | 599 | 704 | | | | 112 | 100 | 7447 | |

TABLA VI

| TOTAL DE TAXONES EN LOS ARCHIPIÉLAGOS MACARONÉSICOS | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **E** | **S** | **V** | **EM** | **SM** | **VM** |
| **MACARONESIA** | 3081 | 3242 | 3408 | 831 | 964 | 1113 |

TABLA VII

## NÚMERO DE TAXONES QUE COMPARTEN ENTRE SI LAS DIFERENTES ISLAS MACARONÉSICAS

| | ET | ST | VT | EM | SM | VM |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **SANTA MARÍA** | 425 | 428 | 428 | 27 | 33 | 34 |
| San Miguel | 372 | 374 | 374 | 24 | 30 | 31 |
| Terceira | 355 | 357 | 357 | 20 | 26 | 27 |
| Graciosa | 260 | 259 | 259 | 11 | 14 | 14 |
| San Jorge | 308 | 307 | 307 | 23 | 29 | 30 |
| Pico | 317 | 317 | 317 | 21 | 27 | 28 |
| Faial | 339 | 339 | 339 | 20 | 25 | 26 |
| Flores | 260 | 260 | 260 | 19 | 24 | 25 |
| Corvo | 229 | 229 | 229 | 19 | 24 | 24 |
| Madeira | 354 | 347 | 347 | 7 | 8 | 9 |
| Desiertas | 86 | 85 | 85 | 2 | 3 | 3 |
| Puerto Santo | 189 | 185 | 185 | 3 | 4 | 4 |
| Salvajes | 37 | 36 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 158 | 156 | 156 | 0 | 1 | 1 |
| Fuerteventura | 159 | 157 | 157 | 0 | 1 | 1 |
| Gran Canaria | 293 | 284 | 283 | 2 | 3 | 3 |
| Tenerife | 311 | 302 | 301 | 2 | 3 | 3 |
| La Gomera | 233 | 224 | 223 | 2 | 3 | 3 |
| La Palma | 230 | 223 | 222 | 2 | 3 | 3 |
| El Hierro | 170 | 164 | 164 | 2 | 3 | 3 |
| San Antonio | 85 | 85 | 85 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 38 | 38 | 38 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 46 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 18 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 16 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 59 | 58 | 58 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 54 | 53 | 53 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 44 | 43 | 43 | 0 | 0 | 0 |
| **SAN MIGUEL** | 694 | 706 | 706 | 51 | 62 | 65 |
| Terceira | 508 | 514 | 514 | 40 | 48 | 51 |
| Graciosa | 301 | 303 | 303 | 14 | 18 | 18 |
| San Jorge | 410 | 412 | 412 | 39 | 50 | 53 |
| Pico | 447 | 449 | 448 | 40 | 49 | 52 |
| Fayal | 474 | 478 | 478 | 40 | 49 | 52 |
| Flores | 350 | 351 | 351 | 35 | 42 | 45 |
| Corvo | 277 | 279 | 279 | 33 | 39 | 39 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Madera | 503 | 500 | 497 | 13 | 15 | 16 |
| Desiertas | 98 | 97 | 97 | 1 | 2 | 2 |
| Puerto Santo | 221 | 218 | 217 | 2 | 3 | 3 |
| Salvajes | 41 | 41 | 41 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 192 | 189 | 188 | 1 | 2 | 2 |
| Fuerteventura | 200 | 198 | 197 | 1 | 2 | 2 |
| Gran Canaria | 384 | 375 | 372 | 4 | 5 | 5 |
| Tenerife | 401 | 391 | 388 | 4 | 5 | 5 |
| La Gomera | 287 | 278 | 275 | 4 | 5 | 6 |
| La Palma | 300 | 292 | 289 | 4 | 5 | 5 |
| El Hierro | 218 | 211 | 210 | 4 | 5 | 5 |
| San Antonio | 108 | 106 | 106 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 48 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 6 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 59 | 58 | 58 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 12 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 19 | 19 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 19 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 72 | 71 | 71 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 71 | 70 | 69 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 53 | 52 | 52 | 0 | 0 | 0 |
| **TERCERA** | 612 | 622 | 623 | 47 | 56 | 60 |
| Graciosa | 298 | 297 | 297 | 13 | 15 | 15 |
| San Jorge | 401 | 402 | 402 | 40 | 49 | 52 |
| Pico | 432 | 435 | 435 | 41 | 50 | 53 |
| Fayal | 458 | 459 | 459 | 42 | 48 | 51 |
| Flores | 339 | 342 | 342 | 34 | 41 | 44 |
| Corvo | 271 | 272 | 272 | 32 | 37 | 37 |
| Madera | 455 | 450 | 447 | 9 | 11 | 11 |
| Desiertas | 95 | 93 | 93 | 1 | 2 | 2 |
| Puerto Santo | 215 | 212 | 212 | 2 | 3 | 3 |
| Salvajes | 44 | 44 | 44 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 187 | 183 | 183 | 1 | 2 | 2 |
| Fuerteventura | 193 | 191 | 191 | 1 | 2 | 2 |
| Gran Canaria | 350 | 342 | 341 | 3 | 4 | 4 |
| Tenerife | 371 | 360 | 359 | 3 | 4 | 4 |
| La Gomera | 268 | 258 | 257 | 3 | 4 | 5 |
| La Palma | 282 | 275 | 274 | 3 | 4 | 4 |
| El Hierro | 198 | 191 | 191 | 3 | 4 | 4 |
| San Antonio | 102 | 102 | 102 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| San Vicente | 48 | 48 | 48 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 56 | 56 | 56 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 10 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 18 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 18 | 18 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 71 | 71 | 71 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 65 | 65 | 64 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 52 | 52 | 52 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **GRACIOSA** | 320 | 322 | 322 | 14 | 18 | 18 |
| | | | | | | |
| San Jorge | 264 | 263 | 263 | 13 | 17 | 17 |
| Pico | 277 | 275 | 275 | 12 | 15 | 15 |
| Fayal | 285 | 286 | 286 | 14 | 17 | 17 |
| Flores | 233 | 231 | 231 | 14 | 16 | 16 |
| Corvo | 199 | 199 | 199 | 13 | 15 | 15 |
| Madera | 276 | 270 | 270 | 3 | 4 | 4 |
| Desiertas | 79 | 77 | 77 | 1 | 2 | 2 |
| Puerto Santo | 158 | 156 | 156 | 2 | 3 | 3 |
| Salvajes | 37 | 36 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 132 | 129 | 129 | 0 | 1 | 1 |
| Fuerteventura | 140 | 139 | 139 | 0 | 1 | 1 |
| Gran Canaria | 235 | 230 | 229 | 1 | 2 | 2 |
| Tenerife | 249 | 240 | 239 | 1 | 2 | 2 |
| La Gomera | 191 | 187 | 186 | 1 | 2 | 2 |
| La Palma | 196 | 192 | 191 | 1 | 2 | 2 |
| El Hierro | 151 | 147 | 147 | 1 | 2 | 2 |
| San Antonio | 75 | 75 | 75 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 32 | 32 | 32 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 37 | 37 | 37 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 14 | 14 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 50 | 50 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 45 | 45 | 45 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 38 | 38 | 38 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **SAN JORGE** | 449 | 453 | 453 | 44 | 56 | 59 |
| | | | | | | |
| Pico | 378 | 378 | 378 | 40 | 50 | 53 |
| Fayal | 380 | 381 | 381 | 39 | 48 | 51 |
| Flores | 315 | 316 | 316 | 35 | 43 | 46 |
| Corvo | 256 | 255 | 255 | 33 | 39 | 39 |
| Madera | 357 | 347 | 344 | 8 | 10 | 10 |
| Desiertas | 83 | 81 | 81 | 1 | 2 | 2 |
| Puerto Santo | 167 | 162 | 162 | 2 | 3 | 3 |
| Salvajes | 37 | 36 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 146 | 143 | 143 | 1 | 2 | 2 |
| Fuerteventura | 147 | 144 | 144 | 1 | 2 | 2 |
| Gran Canaria | 269 | 258 | 257 | 2 | 3 | 3 |
| Tenerife | 294 | 282 | 281 | 2 | 3 | 3 |
| La Gomera | 213 | 202 | 201 | 2 | 3 | 4 |
| La Palma | 221 | 212 | 211 | 2 | 3 | 3 |
| El Hierro | 161 | 152 | 152 | 2 | 3 | 3 |
| San Antonio | 80 | 80 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 36 | 36 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 45 | 45 | 45 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 12 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 18 | 18 | 18 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 57 | 57 | 57 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 56 | 56 | 56 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 45 | 45 | 45 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **PICO** | 523 | 530 | 530 | 46 | 57 | 60 |
| | | | | | | |
| Fayal | 419 | 419 | 419 | 41 | 48 | 51 |
| Flores | 327 | 327 | 327 | 35 | 42 | 45 |
| Corvo | 269 | 269 | 269 | 33 | 38 | 38 |
| Madera | 390 | 383 | 381 | 8 | 10 | 11 |
| Desiertas | 89 | 87 | 87 | 0 | 1 | 1 |
| Puerto Santo | 186 | 183 | 183 | 1 | 2 | 2 |
| Salvajes | 42 | 41 | 41 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 162 | 159 | 159 | 1 | 2 | 2 |
| Fuerteventura | 164 | 162 | 162 | 1 | 2 | 2 |
| Gran Canaria | 296 | 288 | 288 | 2 | 3 | 3 |
| Tenerife | 318 | 309 | 309 | 2 | 3 | 3 |
| La Gomera | 231 | 222 | 222 | 2 | 3 | 4 |
| La Palma | 241 | 235 | 235 | 3 | 4 | 4 |
| El Hierro | 182 | 176 | 176 | 2 | 3 | 3 |
| San Antonio | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 35 | 35 | 35 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 47 | 47 | 47 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 16 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 15 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 56 | 56 | 56 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 56 | 56 | 55 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 42 | 42 | 42 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **FAYAL** | 581 | 590 | 590 | 45 | 54 | 57 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Flores | 337 | 339 | 339 | 34 | 41 | 44 |
| Corvo | 260 | 260 | 260 | 33 | 39 | 39 |
| Madera | 427 | 422 | 420 | 7 | 8 | 9 |
| Desiertas | 91 | 90 | 90 | 1 | 1 | 1 |
| Puerto Santo | 200 | 199 | 199 | 2 | 2 | 2 |
| Salvajes | 40 | 39 | 39 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 182 | 179 | 179 | 1 | 1 | 1 |
| Fuerteventura | 186 | 183 | 183 | 1 | 1 | 1 |
| Gran Canaria | 333 | 327 | 326 | 2 | 2 | 2 |
| Tenerife | 354 | 344 | 343 | 2 | 2 | 2 |
| La Gomera | 257 | 252 | 251 | 2 | 2 | 3 |
| La Palma | 263 | 257 | 256 | 2 | 2 | 2 |
| El Hierro | 196 | 190 | 190 | 2 | 2 | 2 |
| San Antonio | 96 | 96 | 96 | 0 | 0 | 0 |
| San Vicente | 42 | 42 | 42 | 0 | 0 | 0 |
| Santa Lucía | 6 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 53 | 53 | 53 | 0 | 0 | 0 |
| Sal | 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 17 | 17 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 17 | 17 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 66 | 65 | 65 | 0 | 0 | 0 |
| Fogo | 63 | 62 | 61 | 0 | 0 | 0 |
| Brava | 52 | 51 | 51 | 0 | 0 | 0 |

| **FLORES** | 388 | 393 | 393 | 40 | 48 | 51 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Corvo | 248 | 248 | 248 | 35 | 41 | 41 |
| Madera | 297 | 293 | 291 | 8 | 9 | 10 |
| Desiertas | 64 | 63 | 63 | 1 | 1 | 1 |
| Puerto Santo | 141 | 138 | 138 | 3 | 3 | 3 |
| Salvajes | 34 | 33 | 33 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 116 | 113 | 113 | 1 | 1 | 1 |
| Fuerteventura | 123 | 120 | 120 | 1 | 1 | 1 |
| Gran Canaria | 226 | 219 | 217 | 3 | 3 | 3 |
| Tenerife | 240 | 232 | 230 | 3 | 3 | 3 |
| La Gomera | 189 | 182 | 180 | 2 | 2 | 3 |
| La Palma | 183 | 178 | 176 | 3 | 3 | 3 |
| El Hierro | 139 | 133 | 133 | 2 | 2 | 2 |
| San Antonio | 75 | 74 | 74 | 1 | 1 | 1 |
| San Vicente | 33 | 32 | 32 | 1 | 1 | 1 |
| Santa Lucía | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 38 | 38 | 38 | 1 | 1 | 1 |
| Sal | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 12 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 11 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 51 | 51 | 51 | 1 | 1 | 1 |
| Fogo | 46 | 46 | 46 | 1 | 1 | 1 |
| Brava | 36 | 36 | 36 | 1 | 1 | 1 |

| CORVO | 297 | 300 | 300 | 39 | 45 | 45 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Madera | 235 | 229 | 229 | 6 | 7 | 7 |
| Desiertas | 60 | 59 | 59 | 1 | 1 | 1 |
| Puerto Santo | 126 | 123 | 123 | 3 | 3 | 3 |
| Salvajes | 30 | 30 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Lanzarote | 107 | 105 | 105 | 1 | 1 | 1 |
| Fuerteventura | 109 | 107 | 107 | 1 | 1 | 1 |
| Gran Canaria | 190 | 185 | 185 | 3 | 3 | 3 |
| Tenerife | 200 | 192 | 192 | 3 | 3 | 3 |
| La Gomera | 157 | 149 | 149 | 2 | 2 | 2 |
| La Palma | 150 | 145 | 145 | 3 | 3 | 3 |
| El Hierro | 121 | 116 | 116 | 2 | 2 | 2 |
| San Antonio | 65 | 65 | 65 | 1 | 1 | 1 |
| San Vicente | 26 | 26 | 26 | 1 | 1 | 1 |
| Santa Lucía | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 34 | 34 | 34 | 1 | 1 | 1 |
| Sal | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 11 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 12 | 12 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 45 | 45 | 45 | 1 | 1 | 1 |
| Fogo | 42 | 42 | 42 | 1 | 1 | 1 |
| Brava | 32 | 32 | 32 | 1 | 1 | 1 |

| **MADERA** | 1157 | 1179 | 1197 | 172 | 190 | 204 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Desiertas | 173 | 174 | 174 | 33 | 36 | 36 |
| Puerto Santo | 397 | 401 | 399 | 43 | 49 | 48 |
| Salvajes | 71 | 72 | 70 | 10 | 11 | 10 |
| Lanzarote | 327 | 322 | 323 | 13 | 15 | 16 |
| Fuerteventura | 340 | 333 | 333 | 22 | 24 | 24 |
| Gran Canaria | 652 | 643 | 645 | 44 | 47 | 49 |
| Tenerife | 672 | 663 | 665 | 46 | 49 | 52 |
| La Gomera | 486 | 479 | 480 | 43 | 45 | 49 |
| La Palma | 477 | 472 | 472 | 43 | 47 | 49 |
| El Hierro | 367 | 359 | 359 | 36 | 38 | 39 |
| San Antonio | 178 | 174 | 172 | 7 | 11 | 11 |
| San Vicente | 84 | 82 | 81 | 4 | 6 | 6 |
| Santa Lucía | 13 | 13 | 13 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolas | 107 | 105 | 105 | 4 | 8 | 8 |
| Sal | 25 | 24 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 38 | 38 | 38 | 3 | 3 | 3 |
| Mayo | 37 | 36 | 35 | 2 | 2 | 2 |
| Santiago | 125 | 122 | 122 | 5 | 8 | 8 |
| Fogo | 121 | 117 | 115 | 6 | 9 | 9 |
| Brava | 89 | 87 | 86 | 2 | 2 | 2 |

| **DESIERTAS** | 178 | 179 | 181 | 37 | 40 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Puerto Santo | 155 | 156 | 155 | 25 | 28 | 27 |
| Salvajes | 39 | 39 | 39 | 6 | 7 | 7 |
| Lanzarote | 104 | 98 | 98 | 5 | 5 | 5 |
| Fuerteventura | 110 | 104 | 104 | 6 | 7 | 7 |
| Gran Canaria | 140 | 135 | 135 | 9 | 10 | 10 |
| Tenerife | 142 | 136 | 136 | 9 | 9 | 9 |
| La Gomera | 122 | 119 | 119 | 8 | 8 | 8 |
| La Palma | 118 | 113 | 113 | 7 | 8 | 8 |
| El Hierro | 114 | 110 | 110 | 8 | 8 | 8 |
| San Antonio | 43 | 41 | 41 | 1 | 2 | 2 |
| San Vicente | 16 | 16 | 16 | 0 | 1 | 1 |
| Santa Lucía | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| San Nicolas | 27 | 26 | 26 | 0 | 1 | 1 |
| Sal | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 7 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 6 | 6 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Santiago | 23 | 22 | 22 | 0 | 1 | 1 |
| Fogo | 27 | 26 | 26 | 0 | 1 | 1 |
| Brava | 19 | 19 | 19 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **PUERTO SANTO** | 441 | 448 | 449 | 52 | 60 | 60 |
| | | | | | | |
| Salvajes | 58 | 58 | 57 | 6 | 7 | 6 |
| Lanzarote | 244 | 240 | 239 | 5 | 6 | 6 |
| Fuerteventura | 255 | 250 | 249 | 8 | 10 | 10 |
| Gran Canaria | 346 | 342 | 341 | 14 | 15 | 15 |
| Tenerife | 345 | 339 | 339 | 15 | 15 | 15 |
| La Gomera | 286 | 284 | 282 | 13 | 14 | 14 |
| La Palma | 266 | 262 | 261 | 12 | 13 | 13 |
| El Hierro | 248 | 243 | 241 | 13 | 13 | 13 |
| San Antonio | 99 | 96 | 96 | 4 | 5 | 5 |
| San Vicente | 54 | 53 | 53 | 3 | 4 | 4 |
| Santa Lucía | 8 | 8 | 8 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 61 | 59 | 59 | 3 | 4 | 4 |
| Sal | 16 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 21 | 21 | 21 | 3 | 3 | 3 |
| Mayo | 21 | 20 | 19 | 2 | 2 | 2 |
| Santiago | 66 | 64 | 64 | 4 | 5 | 5 |
| Fogo | 63 | 61 | 61 | 3 | 4 | 4 |
| Brava | 51 | 50 | 50 | 2 | 2 | 2 |
| | | | | | | |
| **SALVAJES** | 97 | 99 | 99 | 22 | 25 | 26 |
| | | | | | | |
| Lanzarote | 67 | 64 | 61 | 10 | 10 | 8 |
| Fuerteventura | 67 | 64 | 61 | 9 | 9 | 7 |
| Gran Canaria | 74 | 73 | 71 | 10 | 11 | 10 |
| Tenerife | 77 | 75 | 73 | 10 | 11 | 10 |
| La Gomera | 71 | 69 | 66 | 9 | 10 | 8 |
| La Palma | 64 | 63 | 60 | 9 | 10 | 8 |
| El Hierro | 65 | 63 | 61 | 9 | 10 | 9 |
| San Antonio | 28 | 27 | 26 | 2 | 3 | 3 |
| San Vicente | 20 | 19 | 19 | 1 | 2 | 2 |
| Santa Lucía | 6 | 6 | 6 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 24 | 23 | 22 | 1 | 2 | 2 |
| Sal | 8 | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 11 | 11 | 11 | 1 | 1 | 1 |
| Mayo | 9 | 9 | 8 | 1 | 1 | 1 |
| Santiago | 20 | 19 | 19 | 1 | 2 | 2 |
| Fogo | 20 | 19 | 18 | 1 | 2 | 2 |
| Brava | 18 | 17 | 17 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **LANZAROTE** | 608 | 615 | 629 | 84 | 96 | 106 |
| | | | | | | |
| Fuerteventura | 496 | 495 | 500 | 64 | 74 | 79 |
| Gran Canaria | 509 | 506 | 507 | 50 | 55 | 55 |
| Tenerife | 484 | 483 | 481 | 46 | 52 | 51 |
| La Gomera | 388 | 383 | 380 | 40 | 43 | 41 |
| La Palma | 351 | 349 | 347 | 37 | 43 | 41 |
| El Hierro | 306 | 302 | 299 | 33 | 37 | 35 |
| San Antonio | 122 | 117 | 116 | 4 | 7 | 7 |
| San Vicente | 73 | 70 | 70 | 1 | 2 | 2 |
| Santa Lucía | 17 | 17 | 17 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 76 | 73 | 73 | 2 | 4 | 4 |
| Sal | 31 | 30 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 39 | 39 | 39 | 1 | 1 | 1 |
| Mayo | 33 | 32 | 31 | 1 | 1 | 1 |
| Santiago | 81 | 77 | 77 | 1 | 3 | 3 |
| Fogo | 76 | 71 | 70 | 2 | 3 | 3 |
| Brava | 59 | 56 | 55 | 0 | 0 | 0 |
| | | | | | | |
| **FUERTEVENTURA** | 642 | 645 | 657 | 97 | 109 | 117 |
| | | | | | | |
| Gran Canaria | 537 | 533 | 535 | 64 | 69 | 69 |
| Tenerife | 512 | 511 | 510 | 62 | 69 | 68 |
| La Gomera | 419 | 415 | 413 | 55 | 58 | 56 |
| La Palma | 371 | 367 | 366 | 52 | 57 | 55 |
| El Hierro | 331 | 327 | 325 | 46 | 50 | 48 |
| San Antonio | 132 | 128 | 128 | 5 | 8 | 8 |
| San Vicente | 80 | 78 | 78 | 2 | 3 | 3 |
| Santa Lucía | 22 | 22 | 22 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 82 | 80 | 80 | 3 | 5 | 5 |
| Sal | 37 | 36 | 36 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 46 | 46 | 46 | 2 | 2 | 2 |
| Santiago | 90 | 88 | 88 | 2 | 4 | 4 |
| Fogo | 82 | 78 | 78 | 3 | 4 | 4 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Brava | 59 | 58 | 58 | 1 | 1 | 1 |
| **GRAN CANARIA** | 1270 | 1301 | 1339 | 255 | 288 | 323 |
| Tenerife | 954 | 961 | 970 | 171 | 186 | 198 |
| La Gomera | 693 | 690 | 691 | 133 | 140 | 143 |
| La Palma | 652 | 651 | 653 | 126 | 136 | 139 |
| El Hierro | 516 | 513 | 511 | 111 | 119 | 118 |
| San Antonio | 204 | 199 | 198 | 7 | 11 | 11 |
| San Vicente | 107 | 103 | 103 | 3 | 4 | 4 |
| Santa Lucía | 24 | 24 | 24 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 122 | 119 | 119 | 4 | 7 | 7 |
| Sal | 47 | 46 | 46 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 58 | 58 | 58 | 3 | 3 | 3 |
| Mayo | 54 | 53 | 52 | 2 | 2 | 2 |
| Santiago | 142 | 139 | 139 | 4 | 7 | 7 |
| Fogo | 127 | 122 | 121 | 6 | 8 | 8 |
| Brava | 92 | 89 | 88 | 2 | 2 | 2 |
| **TENERIFE** | 1370 | 1406 | 1455 | 342 | 381 | 435 |
| La Gomera | 743 | 740 | 744 | 170 | 180 | 187 |
| La Palma | 718 | 719 | 722 | 168 | 180 | 185 |
| El Hierro | 543 | 541 | 543 | 128 | 139 | 142 |
| San Antonio | 199 | 195 | 195 | 8 | 13 | 14 |
| San Vicente | 104 | 101 | 101 | 3 | 5 | 5 |
| Santa Lucía | 24 | 24 | 24 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 119 | 116 | 117 | 4 | 8 | 9 |
| Sal | 43 | 42 | 42 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 51 | 51 | 51 | 3 | 3 | 3 |
| Mayo | 49 | 48 | 47 | 2 | 2 | 2 |
| Santiago | 134 | 131 | 132 | 4 | 8 | 9 |
| Fogo | 126 | 122 | 122 | 7 | 10 | 11 |
| Brava | 91 | 88 | 87 | 2 | 2 | 2 |
| **LA GOMERA** | 834 | 850 | 871 | 219 | 243 | 261 |
| La Palma | 597 | 594 | 592 | 146 | 154 | 155 |
| El Hierro | 489 | 485 | 486 | 127 | 134 | 136 |
| San Antonio | 166 | 164 | 163 | 7 | 10 | 9 |
| San Vicente | 81 | 79 | 80 | 2 | 3 | 3 |
| Santa Lucía | 17 | 17 | 17 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 97 | 95 | 96 | 3 | 5 | 5 |
| Sal | 30 | 30 | 30 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 42 | 42 | 42 | 3 | 3 | 3 |
| Mayo | 41 | 41 | 41 | 2 | 2 | 2 |
| Santiago | 107 | 105 | 106 | 3 | 6 | 6 |
| Fogo | 100 | 97 | 94 | 6 | 8 | 7 |
| Brava | 79 | 77 | 76 | 1 | 1 | 1 |
| **LA PALMA** | 820 | 830 | 842 | 219 | 238 | 252 |
| El Hierro | 477 | 476 | 473 | 125 | 136 | 135 |
| San Antonio | 151 | 149 | 148 | 7 | 12 | 12 |
| San Vicente | 73 | 71 | 71 | 3 | 5 | 5 |
| Santa Lucía | 18 | 18 | 18 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 89 | 87 | 87 | 4 | 8 | 8 |
| Sal | 24 | 24 | 24 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 34 | 34 | 34 | 2 | 2 | 2 |
| Mayo | 28 | 28 | 27 | 1 | 1 | 1 |
| Santiago | 94 | 93 | 93 | 3 | 7 | 7 |
| Fogo | 90 | 88 | 87 | 6 | 9 | 9 |
| Brava | 69 | 68 | 67 | 2 | 2 | 2 |
| **EL HIERRO** | 598 | 602 | 612 | 156 | 171 | 181 |
| San Antonio | 113 | 111 | 110 | 5 | 9 | 8 |
| San Vicente | 58 | 56 | 56 | 2 | 4 | 4 |
| Santa Lucía | 14 | 14 | 14 | 1 | 1 | 1 |
| San Nicolás | 67 | 65 | 65 | 3 | 6 | 6 |
| Sal | 21 | 21 | 21 | 0 | 0 | 0 |
| Buenavista | 28 | 28 | 28 | 2 | 2 | 2 |
| Mayo | 22 | 22 | 22 | 1 | 1 | 1 |
| Santiago | 66 | 64 | 64 | 2 | 6 | 6 |
| Fogo | 74 | 71 | 70 | 5 | 8 | 7 |
| Brava | 49 | 47 | 47 | 1 | 1 | 1 |
| **SAN ANTONIO** | 502 | 505 | 527 | 62 | 73 | 87 |
| San Vicente | 239 | 239 | 244 | 34 | 38 | 42 |
| Santa Lucía | 59 | 59 | 60 | 10 | 10 | 10 |
| San Nicolás | 284 | 284 | 291 | 41 | 47 | 50 |
| Sal | 107 | 107 | 108 | 10 | 10 | 11 |
| Buenavista | 141 | 141 | 141 | 15 | 15 | 15 |
| Mayo | 150 | 150 | 150 | 11 | 11 | 11 |
| Santiago | 329 | 330 | 339 | 38 | 44 | 49 |
| Fogo | 298 | 296 | 304 | 43 | 46 | 52 |
| Brava | 198 | 198 | 198 | 26 | 27 | 27 |
| **SAN VICENTE** | 282 | 284 | 292 | 37 | 43 | 50 |
| Santa Lucía | 58 | 58 | 59 | 10 | 10 | 10 |
| San Nicolás | 189 | 190 | 193 | 32 | 38 | 40 |
| Sal | 106 | 106 | 106 | 9 | 9 | 9 |
| Buenavista | 131 | 131 | 132 | 11 | 12 | 13 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mayo | 131 | 131 | 131 | 8 | 9 | 9 |
| Santiago | 209 | 209 | 211 | 27 | 31 | 33 |
| Fogo | 179 | 177 | 179 | 26 | 28 | 31 |
| Brava | 137 | 136 | 136 | 16 | 16 | 16 |
| **SANTA LUCÍA** | 66 | 66 | 67 | 11 | 11 | 11 |
| San Nicolás | 46 | 46 | 47 | 9 | 9 | 9 |
| Sal | 51 | 51 | 51 | 8 | 8 | 8 |
| Buenavista | 48 | 48 | 48 | 8 | 8 | 8 |
| Mayo | 47 | 47 | 47 | 7 | 7 | 7 |
| Santiago | 51 | 51 | 51 | 9 | 9 | 9 |
| Fogo | 41 | 41 | 41 | 6 | 6 | 6 |
| Brava | 37 | 37 | 37 | 5 | 5 | 5 |
| **SAN NICOLÁS** | 329 | 333 | 342 | 47 | 57 | 62 |
| Sal | 83 | 83 | 82 | 8 | 8 | 7 |
| Buenavista | 107 | 107 | 107 | 11 | 12 | 12 |
| Mayo | 120 | 120 | 119 | 8 | 9 | 9 |
| Santiago | 253 | 254 | 259 | 32 | 38 | 40 |
| Fogo | 225 | 224 | 225 | 32 | 36 | 37 |
| Brava | 171 | 171 | 171 | 20 | 21 | 21 |
| **SAL** | 140 | 140 | 141 | 14 | 15 | 16 |
| Buenavista | 92 | 92 | 92 | 9 | 9 | 9 |
| Mayo | 95 | 95 | 95 | 8 | 8 | 8 |
| Santiago | 102 | 102 | 102 | 10 | 10 | 10 |
| Fogo | 82 | 82 | 82 | 8 | 8 | 8 |
| Brava | 62 | 62 | 62 | 6 | 6 | 6 |
| **BUENAVISTA** | 195 | 195 | 196 | 17 | 18 | 19 |
| Mayo | 130 | 130 | 129 | 12 | 13 | 13 |
| Santiago | 148 | 148 | 148 | 15 | 16 | 16 |
| Fogo | 123 | 123 | 123 | 12 | 12 | 12 |
| Brava | 94 | 94 | 93 | 8 | 8 | 8 |
| **MAYO** | 204 | 204 | 204 | 13 | 14 | 14 |
| Santiago | 175 | 175 | 175 | 12 | 13 | 13 |
| Fogo | 137 | 137 | 136 | 8 | 8 | 8 |
| Brava | 98 | 98 | 96 | 6 | 6 | 6 |
| **SANTIAGO** | 448 | 450 | 463 | 44 | 53 | 59 |
| Fogo | 288 | 288 | 294 | 36 | 41 | 45 |
| Brava | 198 | 198 | 198 | 22 | 24 | 24 |
| **FOGO** | 387 | 386 | 399 | 51 | 57 | 67 |
| Brava | 187 | 187 | 187 | 25 | 27 | 27 |
| **BRAVA** | 231 | 231 | 231 | 29 | 31 | 31 |

LEYENDA TABLA

Total de especies (ET)
Total de subespecies(ST)
Total de variedades (VT)
Especies endémicas macaronésicas (EM)
Subespecies endémicas macaronésicas (SM)
Variedades endémicas macaronésicas (VM)

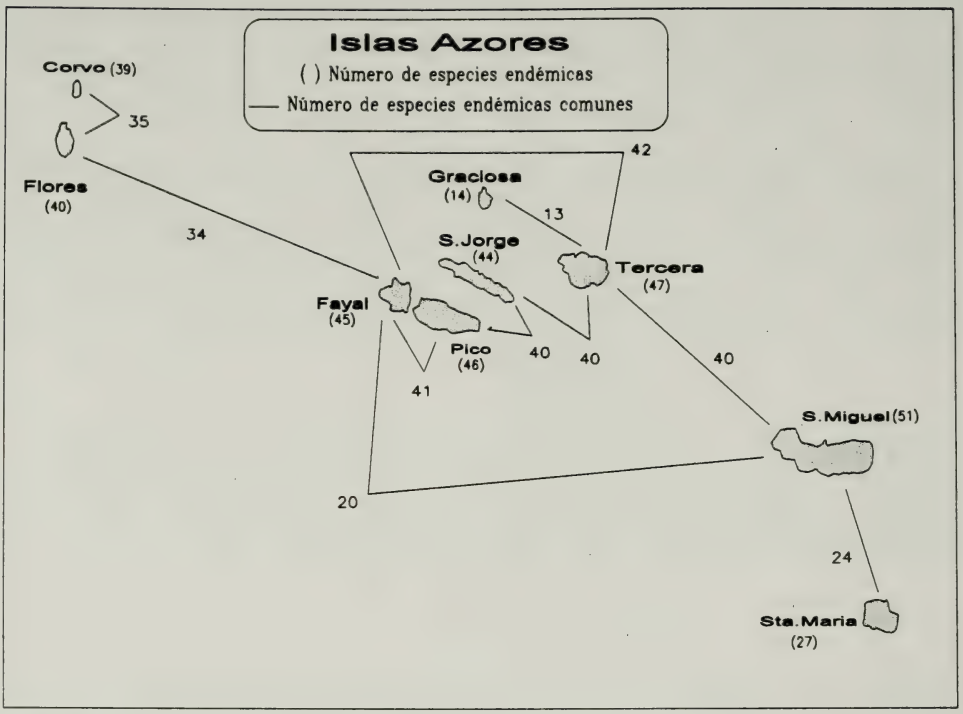


Figura 1.

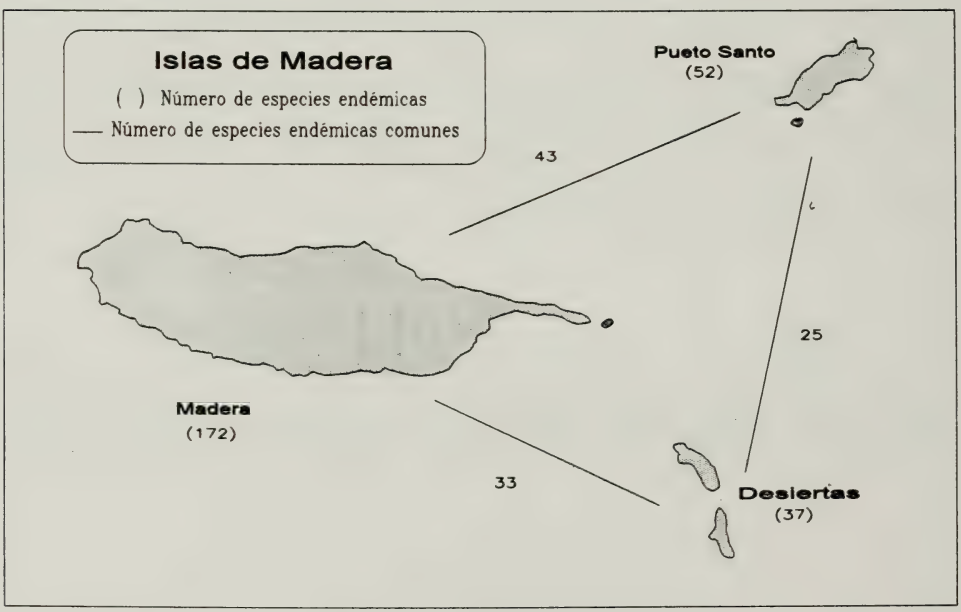


Figura 2.

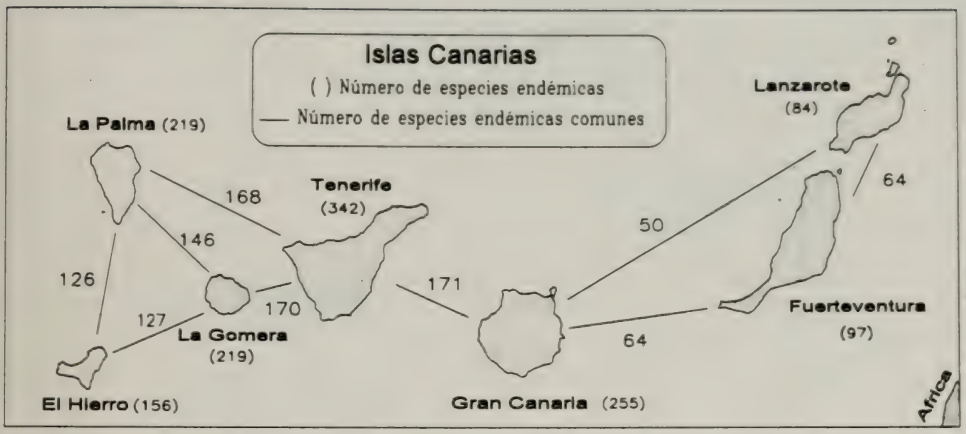


Figura 3.

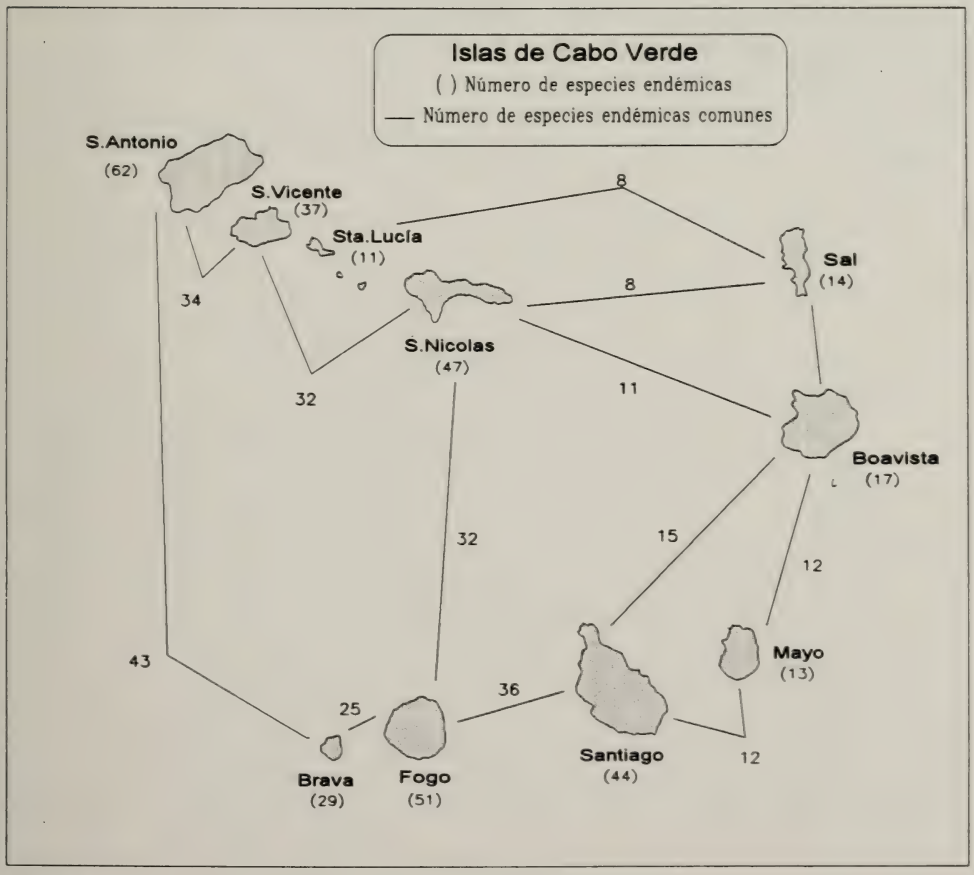


Figura 4.

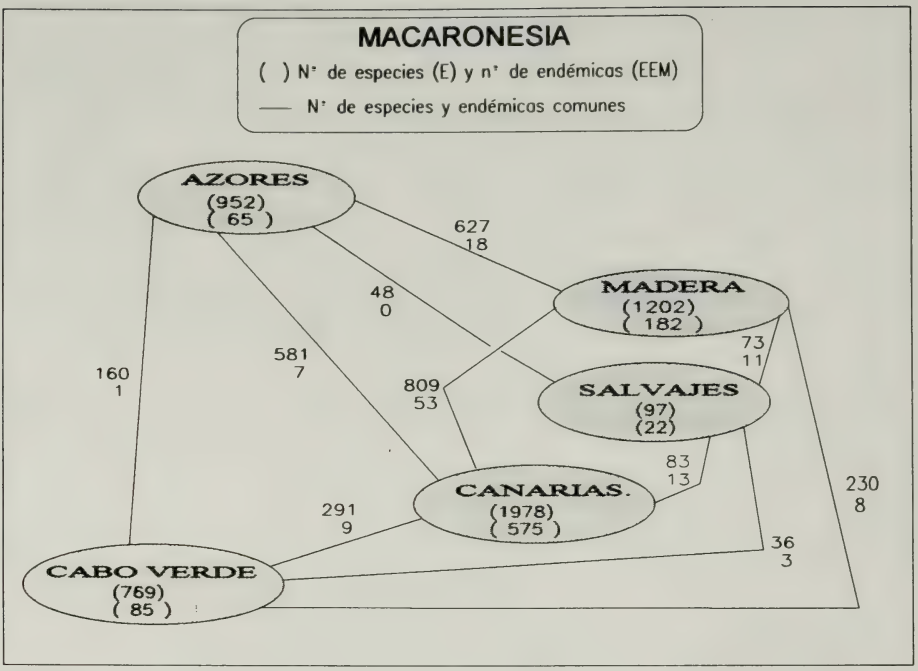
MACARONESIA
( ) Nº de especies (E) y nº de endémicas (EEM)
—— Nº de especies y endémicos comunes
AZORES
(952)
( 65 )
MADERA
(1202)
( 182 )
SALVAJES
(97)
(22)
CANARIAS.
(1978)
( 575 )
CABO VERDE
(769)
( 85 )
627
18
48
0
160
1
581
7
809
53
73
11
83
13
230
8
291
9
36
3

Figura 5.

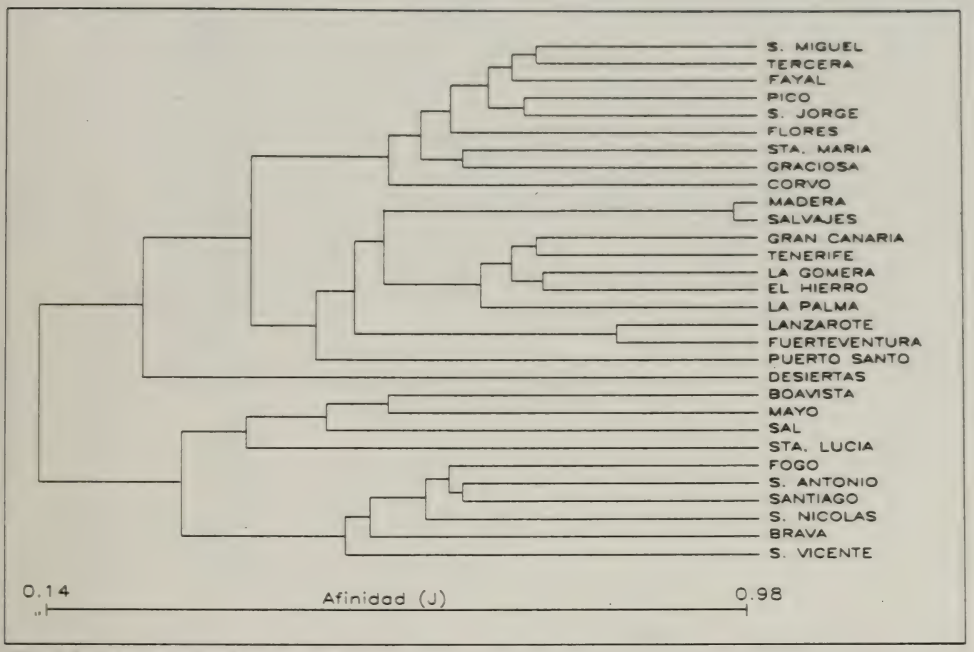


**Fig. 6. Dendrograma con los géneros.**

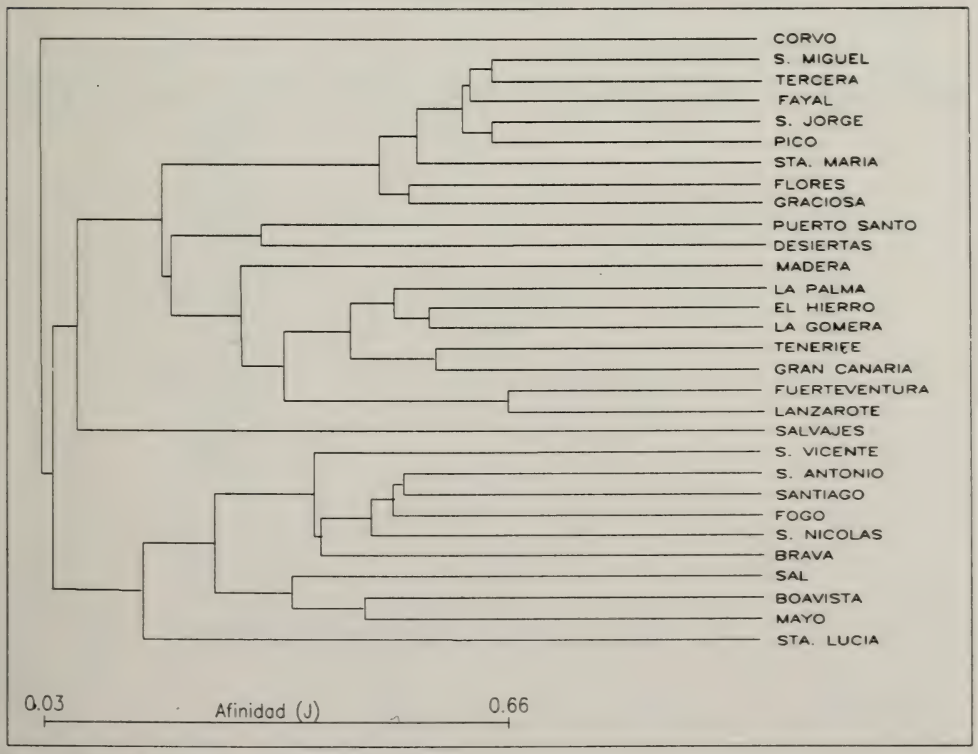


**Fig. 7. Dendrograma con todas las especies.**

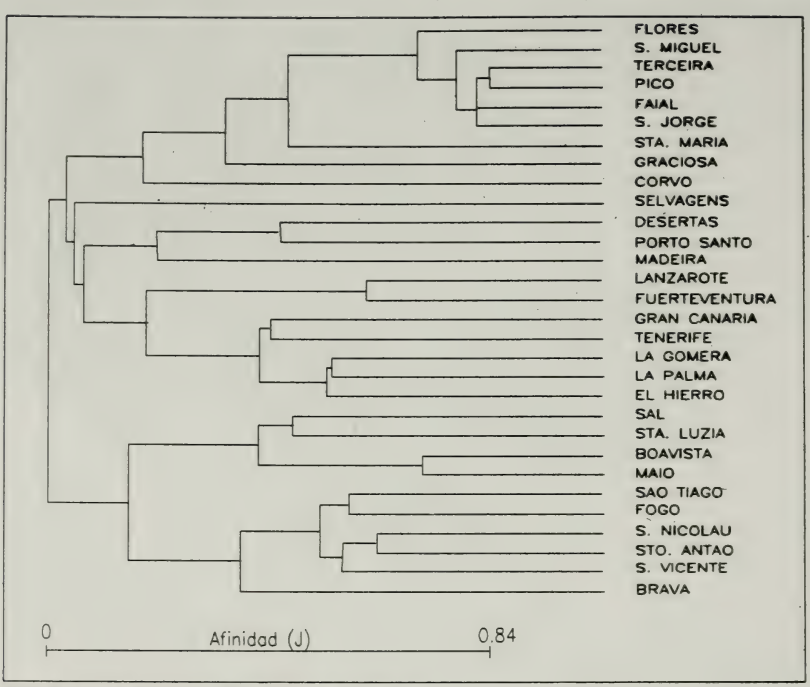


Fig. 8. Dendrograma con las especies endémicas.

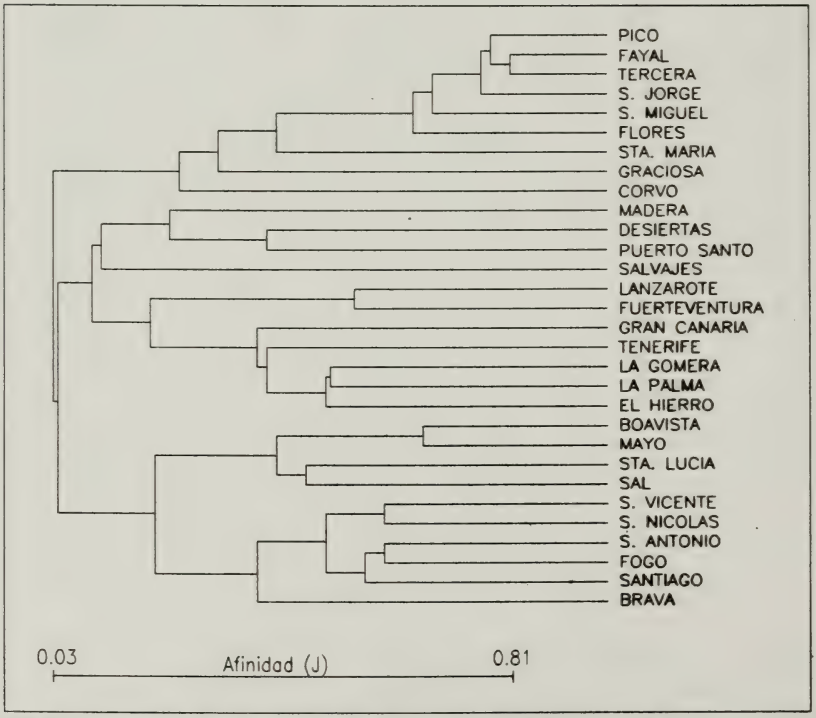


Fig. 9. Dendrograma con las especies con subespecies o variedades endémicas.

SECCIÓN

# HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 101-131 (1994)

# LA IDEA DE LA VIDA EXTRATERRESTE A LO LARGO DE LA HISTORIA

M. Vázquez
Instituto de Astrofísica de Canarias, 38200 La Laguna

## ABSTRACT

Ideas about the existence of extraterrestrial life have been evolving throughout History following three independent paths: a) the study of the origin of life on the Earth: b) the knowledge of the structure of the Universe and the our planet's rôle in it, and c) the small-scale structure of matter.

In the past decade these paths have been coming together, giving an unified view of the problem. However, two main schools of thought remain. On the one side, the supporters of the plenitude principle, after which the conditions driving life on Earth are simply another inevitable phase in the chemical evolution of the Universe. And on the other, heralded mainly by the anthropic principle, we have ideas supporting the notion that the existence of Mankind on Earth is sufficent to explain the Universe. Our planet seems to show a set of previliges which can hardly be reproduced in other planetary systems. Moreover the events giving place to life were of a catastrophic nature, like the birth of the Moon and the impact of comets.

From the astronomical point of view, three are the challenges posed for the next century: a) to detect other planetary systems, b) to determine to what extent are the conditions that lead to life on Earth exceptional, and c) to search and establish contact with other civilizations.

## RESUMEN

Las ideas sobre la existencia de vida extraterrestre han ido evolucionando a lo largo de la Historia siguiendo tres caminos independientes: a) El estudio del origen de la Vida en la Tierra, b) el conocimiento de la estructura del Universo y el papel que nuestro planeta juega en ella y c) La estructura de la materia a pequeña escala.

En la última década estas vías han ido confluyendo dando una visión unificada del problema. Sin embargo dos escuelas de pensamiento persisten. Por un lado los partidarios del principio de plenitud, según el cual las condiciones que condujeron a la vida en la Tierra son una fase más, incluso inevitable, en la evolución química del Universo. Por otra lado, y representados en gran parte por el principio antrópico, las ideas que apoyan que la existencia del Hombre en la Tierra es suficiente para explicar el Universo. Nuestro planeta parece presentar una serie de privilegios difíciles de reproducir en otros sistemas planetarios. Además los acontecimientos que dieron lugar a la vida fueron fundamentalmente de carácter catastrófico, tales como el origen de la Luna o el impacto de los cometas.

Desde el punto de vista astronómico, tres son los retos que se plantean para el próximo siglo: a) detectar otros sistemas planetarios, b) determinar hasta que punto las condiciones que dieron lugar a la vida en la Tierra constituyen una excepción y c) buscar y establecer contacto con otras civilizaciones.

# 1 INTRODUCCION

El planteamiento del problema de la existencia de otros mundos habitados conecta tres cuestiones básicas del conocimiento humano: La estructura del universo, tanto a gran como a pequeña escala y el problema del origen de la vida.

En este artículo trataremos de exponer como se han ido desarrollando estas ideas a lo largo de la Historia de la Humanidad, convergiendo en la actualidad al integrar la evolución de la vida como una fase más dentro de la evolución del Universo. En gran parte es la idea básica del llamado *principio de mediocridad*, según el cual los procesos que han conducido a la formación de la Tierra y la subsiguiente evolución de la vida son típicos a escala de todo el Universo.

El planteamiento de este tema es claramente interdisciplinar, implicando todas las Ciencias de la Naturaleza y la Filosofía. Por otro lado, como en otros aspectos de la Ciencia, el desarrollo de estas ideas ha estado influenciado por las creencias religiosas imperantes.

Durante una gran parte de la Historia de la Humanidad el tema ha quedado restringido al ambito filosófico. Tan solo a partir del siglo XIX los avances en Biología y Astronomía han permitido estudiar el problema utilizando razonamientos científicos. Sin embargo permanecen desconocidos problemas fundamentales, debido a la falta de cualquier tipo de dato sobre la existencia de otras formas de vida en el Universo.

# 2 EL MUNDO ANTIGUO

Algunos pueblos primitivos (babilonios, egipcios, chinos y mayas) compartieron la idea de considerar todas las estructuras y fenómenos observados en el cielo como dados, es decir, no buscaron explicaciones. Las primeras ideas sobre el origen de la vida estaban basadas en que ésta surgía espontáneamente de la nada o bien de substancias como el barro del Nilo, en el caso de los egipcios, ó del bambú en el de los chinos.

Fueron los griegos los primeros en expresar ideas concretas. Anaximandro, (611–545 a.C) propuso la existencia de una serie infinita de mundos que evolucionaban y acababan siendo destruídos, ocupando la Tierra el centro del Universo. Poco más tarde, Anaxagoras (500–428) señaló que gérmenes provenientes del espacio exterior daban lugar a la vida, sentando las bases de la teoría de la panespermia.

Ahora bien, pronto iba a empezar la división del pensamiento humano en dos escuelas que tanto en estos como en otros temas, habrían de impregnar la evolución de las ideas científicas hasta nuestros días.

La llamada escuela atomista tuvo su principal representante en Demócrito, (460–360) si bien fue Leucipo el que elaboró los primeros principios. Para ellos el Cosmos, al estar sujeto a leyes naturales, era algo que se podía comprender. Con una intuición genial, sostuvo que toda la materia estaba constituída por pequeños corpúsculos ("átomos") en movimiento, los cuales se encontraban separados por espacios vacíos. Los atomistas consideraban un Universo infinito con un número infinito de planetas habitables, lo cual era una consecuencia directa de admitir que la materia podía tener diversa gradación pero sin diferencias en su esencia. Sin embargo, como sus antecesores, creían que la vida se originaba espontáneamente del fango. La escuela de Epicuro (342–270) supuso una continuación de estas ideas, caracterizando el Universo como

un sistema unitario y finito. Dado que se suponía un número infinito de átomos, se admitía que tenían que haber otros mundos diferentes al nuestro. Los componentes de la escuela estoica, representada por Zenón (341-264), rechazaron el atomismo, pero su Universo no era menos material, compuesto por los cuatro elementos básicos: tierra, agua, aire y fuego. Aristarco de Samos (310-230) fue el primero en exponer una teoría heliocéntrica con la Tierra girando alrededor del Sol.

En Roma, Lucrecio (98–55) fue el principal representante de las ideas atomistas. Su filosofía sobre la pluralidad de los mundos habitados puede resumirse en su frase: "*Es improbable en alto grado que esta tierra y este cielo sea la única cosa que ha sido creada... Nada en el Universo es lo único que ha sido creado, único y solitario en su nacimiento y crecimiento... Uno por tanto esta forzado a reconocer que en otras regiones hay otras Tierras y diversas clases de Hombres y animales*". Fue el introductor del llamado *principio de plenitud*, según el cual cualquier cosa que en potencia pueda realizarse, terminará haciendolo.

Una forma totalmente distinta de plantearse el problema fue la defendida por la escuela formada en torno a Pitágoras (580–500), los cuales entendían que los números y la geometría eran la substancia de todas las cosas y la causa de cualquier fenómeno de la naturaleza. Su poco amor por la observación y la experimentación iba a transmitirse a los filósofos posteriores, caracterizados por un fuerte geo– y antropocentrismo junto con una dicotomía entre materia y espíritu. En esta línea Platón (427–347) urgió a los astrónomos a pensar sobre el Universo en vez de perder el tiempo con su observación. Su discípulo Aristóteles (384–322) sostenía que los cuerpos celestes estaban hechos de éter, una substancia diferente de la que estaba compuesta la Tierra, la cual estaría formada por los cuatro elementos de la escuela estoica. La Tierra y el Hombre eran el centro de todo, utilizando como principal apoyo de su argumentación la doctrina del movimiento natural que se basaba en que cada elemento se mueve hacia su posición central de manera natural y lejos de él tan solo con violencia. Fue contrario a la idea de pluralidad de los mundos ya que otra Tierra traería consigo otro centro. Asimismo era partidario de un Universo finito ya que uno infinito no podría tener un centro. Aristóteles y sus seguidores fueron tambien defensores de la generación espontánea de la vida, la cual se producía mediante la acción de un espirítu vivificador sobre la materia.

Plutarco (46–120) y Luciano de Samosata (120–200) fueron quizás los primeros en especular sobre viajes a la Luna y el encuentro allí con vida selenita. Por otro lado siguiendo las ideas de Epicuro, Cicerón (106–43) defendió la idea de mundos diferentes que se iban sucediendo a lo largo del tiempo.

Ptolomeo (87–170 d.C) se basó en anteriores trabajos de Hiparco (190–125) para elaborar una complicada teoría geométrica con objeto de explicar los movimientos de los planetas conocidos del Sistema Solar basada en los siguientes puntos: 1) los cielos tenían forma esférica, 2) la Tierra estaba en el centro de la esfera y era inmóvil y 3) los cuerpos celestes se movían en círculos. Durante muchos siglos su obra principal, el Almagesto, fue considerada el compendio del saber astronómico.

## 3 LA EDAD MEDIA

Después de la caída de Roma, los astrónomos árabes conservaron el saber griego al mismo tiempo que mejoraban la precisión de las observaciones. Seguían al Almagesto aunque algunos como Avempace y Yabir Ybn Aflah no dudaron en criticarlo, pero sin proponer soluciones alternativas.

Averroes (1126–1198) propusó que todos los seres vivos de la Naturaleza no habían sido creados para el Hombre sino por un principio de perfección. El judío Maimonides (1135–1204) daba su versión del principio de plenitud: si la Tierra no es más que un punto comparada con la esfera de las estrellas fijas, la especie humana debe conservar la misma relación con respecto a todos los seres que pueblan el Universo.

En el mundo occidental, el pensamiento filosófico pudo subsistir en cuanto tuviera una conexión teológica. El gran problema que se planteaba era como reconciliar la revelación divina, expresada en la Biblia, con las ideas científicas. Cuestiones como la unicidad de la Redención por Cristo y la descendencia de todos los seres de Adán y Eva condicionaron las ideas sobre la pluralidad de mundos habitados.

En una primera fase las opiniones fueron claramente contrarias. Así San Agustín (354–430) en su "Ciudad de Dios" se opone claramente al principio de plenitud. A principios del siglo XII empezaron a conocerse los trabajos de Aristóteles, y personas como Alberto Magno (1193–1280) y Tomás de Aquino (1227–1274) contribuyeron a su divulgación. Ambos admitían que la razón podía ser un camino para llegar al conocimiento de la verdad. Poco después Roger Bacon (1212–1294) señalaba la necesidad de someter a crítica los hechos presentados en la Biblia. En su "Opus Major" reconocía que aún la estrella más pequeña era mucho mayor que la Tierra. Sin embargo negaba la posibilidad de existencia de otros mundos debido al vacío que tendría que existir entre ellos.

Poco a poco se iba produciendo un cambio aún basándose en los mismos principios religiosos. John Buridan (1295–1358) señalaba que la Omnipotencia Divina no podía tener límites pudiendo construirse otros mundos con diferentes elementos y leyes. Junto con W. de Occam (1280–1347), proponente del conocido *principio de economía* para la interpretación de las observaciones, criticó las ideas de Aristóteles. En 1440 el cardenal Nicolas di Cusa (1401–1464) publicaba "De docta ignorantia" donde apoyaba decididamente la pluralidad de mundos habitados aceptando que el Universo era infinitamente grande y que no había diferencia entre la materia terrestre y la celeste. En su opinión, Dios había creado el Universo siguiendo fundamentos matemáticos, cuyo conocimiento era el camino adecuado para la comprensión de la obra divina. Enunció un principio que se podría considerar como un anticipo de la cosmología moderna: "Para un observador situado en cualquier lugar de la esfera terrestre le parecerá que tal punto es el centro del Universo."

## 4 EL RENACIMIENTO Y EL NACIMIENTO DE LA CIENCIA EMPIRICA

Cuatro grandes astrónomos contribuyeron decisivamente al cambio de ideas que significó el Renacimiento.

Nicolas Copérnico (1453–1543) en su "De revolutionibus orbium celestium" retornó a la teoría heliocéntrica de Aristarco. Erasmus Reinhold (1511–1553) calculó los movimientos de los planetas en este nuevo contexto permitiendo una rápida divulgación de la idea.

Puede considerarse a Tycho Brahe (1546–1601) como uno de los más grandes observadores astronómicos y al mismo tiempo como uno de los peores interpretes de tales observaciones. Casi un siglo después de Copérnico sostenía que los cinco planetas conocidos giraban en torno al Sol, mientras que éste lo hacía en torno a la Tierra. Realizó la mayor parte de sus trabajos en el Observatorio de Uraniborg, transladándose al final de su vida a Praga, donde conoció a

Johannes Kepler, al cual le proporcionó sus observaciones de la posición de los objetos celestes que tenían una precisión de un minuto de arco, diez veces más precisas que las que había utilizado Copérnico.

Johannes Kepler (1571–1630) enunció sus conocidas tres leyes del movimiento planetario, que pueden considerarse como la primera descripción matemática del Universo. Fue un decidido partidario de la pluralidad de los mundos habitados.

Galileo Galilei (1564–1642) fabricó el primer telescopio posibilitando el comienzo de la comprensión del Universo desde un punto de vista empírico, sin prejuicios. Sus observaciones (p.ej en el "Siderius nuncius") apoyaban claramente la idea de que el mundo celeste no era diferente del terrestre. Dos mil años habían sido necesarios para retornar, en gran parte, a las ideas que habían expuestos los atomistas de Demócrito.

Giordano Bruno (1548–1600) conectó la teoría heliocéntrica con la pluralidad de mundos habitados y el concepto de Universo infinito, atacando duramente las ideas de Aristóteles. En su "La cena de le ceneri" (1584) defendió por primera vez las ideas de Copérnico. Por desgracia la intolerancia humana le condujo a morir en la hoguera.

Se había producido ya un giro definitivo en las ideas sobre la concepción del Universo. Un paso importante fue la introducción del *método científico* como procedimiento para el conocimiento de la Naturaleza. F. Bacon (1561–1626) propuso que las interpretaciones de los fenómenos naturales deberían estar basadas en la experimentación y la observación, recomendando la especialización y la formación de grupos de trabajo. En esta misma línea R. Descartes (1596–1650) propuso que al conocimiento de las cosas se llega por experiencia y deducción, mientras que a los primeros principios se accede mediante la intuición. En su "Principia philosophicae" describió la teoría de los vórtices para explicar la razón del movimiento de los planetas.

Este cambio en las ideas iba a afectar de manera clara al tema que nos ocupa. En 1646 Henry Moore publica "An essay upon the Infinity of the Worlds" donde aplica el principio de la plenitud a la idea de un número infinito de planetas habitados.

Las ideas sobre el origen de la vida continuaban totalmente disociadas del conocimiento general del Universo. Sin embargo Francisco Redi (1626–1698) realizó las primeras críticas a la generación espontánea, las cuales se confirmaron con la utilización del microscopio desarrollado por Anton Leeuwenhoek (1632–1723) evidenciándose la existencia de microorganismos en materia en descomposición. Desde ese momento la Humanidad contaba con las herramientas necesarias para el estudio de la evolución a escala cósmica de la vida: el telescopio, el microscopio y el método científico para interpretar las observaciones y experimentos. Por si algo faltaba Isaac Newton (1643–1727) elaboró sus tres leyes de la dinámica que junto con la de la gravitación universal permitieron una explicación todavía más clara de los movimientos planetarios.

Las obras de R. Bentley "Confrontation of Atheism from the Origin and Frame of the World" en 1693, Wisdom of God manifested in the works of Creation" de John Ray en 1691 y la "Cosmologia Sacra" de N. Green en 1701, pueden considerarse buenas muestras de que la época de confrontación con las ideas religiosas había pasado. Así W. Denham en su "Astrotheology or a demostration of the being and attributes of God, from a survey of the Heaven" utiliza los modernos avances astronómicos como evidencia de la existencia de Dios.

Otro paso decisivo fue el realizado por Thomas Wright en 1750 con su "Original Theory or New Hypothesis of the Universe" donde expone su teoría sobre nuestro sistema estelar: la

Vía Láctea, la cual estaría compuesta por numerosas estrellas distribuídas en forma de un disco aplanado. Su centro sería muy masivo, moviéndose las estrellas en órbitas casi circulares. A este centro le asignó un carácter especial, lo que le impidió aceptar la existencia de otros sistemas estelares ("galaxias") distintos al nuestro. Immanuel Kant en su "Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels", en 1755, acepta que nuestro sistema estelar no es único, introduciendo el concepto de "Universos islas". Asimismo, propuso la primera teoría sobre el origen del Sistema Solar, señalando que su formación había tenido lugar mediante condensaciones locales de una nube de gas primigenia. Admitía que la materia estaba gobernada por las leyes generales de la naturaleza lo cual evidenciaba la existencia de Dios. Ahora bien el Universo evolucionaba sin la acción divina directa.

Laplace (1749–1827) desarrolló las ideas de Kant sobre el Sistema Solar, asociando la formación de los planetas a la del Sol, con lo que se daba un fuerte apoyo a la pluralidad de los mundos habitados. El problema de la distribución del momento angular fue su principal inconveniente no resuelto hasta nuestros días.

Poco antes había surgido la primera teoría de tipo catastrofista. En su "Histoire naturelle", publicada en su primera parte en 1749, G.L. Lecrec (también conocido por Buffon), describió la formación del sistema solar como consecuencia de la colisión de un cometa con el Sol, bajo la acción de Dios. A principios de nuestro siglo T. Chamberlain ofreció una variante en la que el proceso había sido originado por el efecto de marea producido por una estrella pasando por las cercanías del Sol. Dado lo improbable de tales acontecimientos, la existencia de otros sistemas planetarios similares al nuestro debería considerarse como extremadamente raro en el Universo. Jaki (1978) proporciona una excelente visión de la evolución histórica de las ideas sobre el origen del sistema solar.

W. Herschel presentó hacia 1800 el primer modelo de nuestra Galaxia, colocando al Sol en su centro y elaborando un catálogo de todos los objetos que presentaban un aspecto no puntual, englobándolos bajo el nombre de nebulosas. En 1850 W. Parsons demostró que algunas de ellas mostraban una estructura espiral.

El principio del siglo XX trajo un importante avance de las técnicas de observación astronómica (p.ej la introducción del espectrógrafo y el uso generalizado de la fotografía) y la aplicación de las leyes de la radiación para la interpretación de las observaciones. Así en 1914, V. Slipher logró situar la rendija del espectrógrafo en los extremos de una nebulosa comprobando su rotación mediante el efecto Doppler.

En 1915 H. Shapley, a partir de un estudio de la distribución de cúmulos globulares (pequeños satelites de nuestra Galaxia), concluyó que el centro de la galaxia estaba en la dirección de la constelación de Sagitario, estando el Sol bastante lejos de dicho centro. Su modelo de la Gran Galaxia suponía que las nebulosas espirales eran objetos cercanos y no otras galaxias.

El 28 de abril de 1920 tuvo lugar un gran debate en la Academia Nacional de Ciencias, en Washington, e e los partidarios y detractores de la idea que las nebulosas espirales eran objetos extragalacticos de tamaño similar al de nuestra galaxia (Shapley & Curtis, 1921). La solución vino en 1924 cuando Edwin Hubble determinó la distancia a la vecina galaxia de Andrómeda, confirmando su caracter extragaláctico. La escala de distancias en el Universo empezaba a establecerse.

# 5 LA TEORIA DE LA EVOLUCION

A finales del XVIII las discusiones y experimentos sobre la generación espontánea dominaban el estudio del origen de la vida mientras que su evolución parecía dominada por los cataclismos y creaciones sucesivas con objeto de adaptarse mejor a las ideas religiosas. La doctrina del vitalismo pretendía que la conducta de los seres vivos no podía ser comprendida por los procesos ordinarios de la física y química, lo cual, aparentemente, se vió confirmado por los experimentos de Luigi Galvani, hacia 1790, en los cuales músculos de rana se movían al ser tocados con un par de varillas metálicas. La "electricidad animal" paracía ser el espíritu vital buscado.

Los estudios sobre la edad de la Tierra permitían ya empezar a hablar de centenares de millones de años, en lugar de los miles deducidos literalmente de la Biblia. Geólogos como James Hutton (1726–1797) y Charles Lyell (1797–1875) lo pusieron de evidencia estudiando la erosión de las rocas. Asimismo el estudio de los fósiles de animales y plantas indicaba la existencia de extinciones.

Jean Baptiste de Lamarck (1744–1829) aportó su creencia en un movimiento natural ascendente de la evolución de la vida en nuestro planeta, invocando cuatro principios básicos: a) existencia de un impulso interno hacia la perfección, b) capacidad de los seres vivos para adaptarse a las circunstancias, c) repetitividad de la generación espontánea y d) herencia de los caracteres adquiridos. Si bien se equivocó en parte de estas hipótesis, fue el primero en entender que la evolución de los seres vivos era un proceso gradual. Fue el predecesor de los conocidos trabajos de Charles Darwin (1809–1882) y Alfred Wallace (1823–1913) sobre la evolución de las especies. El proceso la selección natural hacía que la selección se desarrollase sin saltos o cambios súbitos.

La mayor parte de los biólogos (incluídos Darwin y Wallace) no eran partidarios de la existencia de vida inteligente en otros mundos. Wallace señalaba en "Man's Place in Nature" publicado en 1905: *La mera afirmación de que pueda haberse desarrollado un ser vivo con una forma animal diferente y poseyendo la naturaleza moral e intelectual del Hombre, no tiene ningún valor. No tenemos evidencia de ello, mientras que el hecho de que ningún otro animal que el Hombre haya desarrollado tales facultades, es fuerte evidencia en contra.*

Sin embargo, otra serie de factores iba a intervenir en el juego. La síntesis de la urea por F. Wohler en 1828, había demostrado al posibilidad de paso de la materia inorgánica a la orgánica, mientras que Louis Pasteur (1822–1895) certificó con sus experiencias el fin de la generación espontánea. Todo esto condujo a la intuición de Darwin de que la presencia actual de vida era un fuerte condicionamiento para el desarrollo de nuevas formas. Como escribía en 1871: *Se afirma con frecuencia que en nuestros días se dan todas las condiciones necesarias para la génesis primaria de los seres vivos. Pero si (y oh, que gran si!) nos imaginasemos que en el seno de una pequeña laguna de aguas templadas, conteniendo toda clase de fosfatos y nitratos, electricidad, luz, etc. hubiera aparecido por vía química una substancia protéica capaz de experimentar una serie de transformaciones más complejas, tal producto sería en la actualidad devorado o absorbido, cosa que no hubiera sucedido con anterioridad a la aparición de los seres vivos.*

## 6 LA ESTRUCTURA DE LA VIDA

La teoría de la evolución necesitaba un mecanismo que explicara las variaciones entre las especies y el mecanismo de selección natural, es decir necesitaba el código de la herencia. En 1858 Rudolph Virchow había introducido el concepto de célula como unidad de vida y Gregor Mendel (1822–1884) el gen como unidad de herencia.

Hacia 1880 se había puesto de manifiesto la existencia de los cromosomas en las celulas, los cuales eran portadores de los genes cuya composición consistía en proteínas y ácidos nucléicos. El proceso de la división de los cromosomas fue analizado por N. Stevens a principios de siglo.

En 1926 J.B. Summer logró aislar un enzima, catalizador imprescindible para las reacciones bióticas. Poco después, en 1930, G. Beadle y E. Tatum demostraron que estas substancias controlan la estructura de la célula mientras que los genes controlan a los enzimas.

El descubrimiento del ADN por O.T. Avery en 1944, supuso el nacimiento de la biología molecular. La síntesis de este compuesto en las condiciones primitivas de la Tierra, a partir de proteínas y aminoácidos, significó el medio para que la vida progresase. Esta substancia junto con el ARN incorporan la información sobre el orden de los 20 aminoácidos básicos para la síntesis de las proteínas. En 1952 A. Hershey y M. Chase demostraron que el ADN era el responsable de la reproducción de los virus. En 1955 H. Fraekel-Conrat presentó evidencias de que la molécula del ADN era portadora del código genético de la herencia. El mismo año J.H. Watson y F.H. Crick concluyeron que dicha molécula estaba dispuesta en la conocida forma de doble hélice. El ADN fabrica el ARN y este a las proteínas, si bien está todavía por dilucidar cual de los dos surgió primero en la cadena de reacciones químicas de la vida terrestre. Las bases químicas del ADN son la adenina, citosina, guanina y timina mientras que en el ARN esta última se substituye por el uracilo.

Aparte del problema de la estructura de la vida uno se puede preguntar por la razón de su existencia, algo que quizás pueda no estar del todo al alcance de la Ciencia sino más bien de la Filosofía e incluso de las creencias personales. En este sentido Cramer (1992) defiende la idea de la auto–organización de la materia que conduce inexorablemente a la vida en base de un principio físico similar p.ej a la gravedad. Ciertas leyes empíricas nos pueden ayudar a la comprensión de este proceso de auto–organización tal como ha hecho M. Eigen en sus trabajos.

## 7 EL ORIGEN DE LA VIDA EN LA TIERRA

Como ya señalamos al hablar del mundo antiguo, al primera idea sobre el origen de la vida estuvo ligada a su traslado a la Tierra procedente de otros mundos. Esta teoría de la panespermia resurgió en el siglo XIX, en parte como apoyo a las ideas materialistas que se encontraban , el problema de que la Tierra no era eterna, transmitiéndose el problema al Universo en general. El propio Isaac Newton había expresado su creencia en que las plantas podían generarse espontáneamente de emanaciones surgidas de las colas de los cometas.

En 1821, E. de Montlivault propuso que fragmentos de estrellas habían contaminado la Tierra. Poco después, en 1865, H. Richter señalaba que algo similar al viento solar llevaría los gérmenes fuera del campo de acción de la estrella madre, entrando en estado de hibernación hasta su llegada a la Tierra. Justus von Liebig decía en sus "Letters on Chemistry" publicadas en 1861: *Las atmósferas de los cuerpos celestes así como las nebulosas cósmicas*

*pueden considerarse como el santuario eterno de formas animadas, las plantaciones eternas de gérmenes orgánicos".*

Experimentos de F. Cohn con bacterias a bajas temperaturas parecieron dar algún apoyo a esta teoría, junto con el descubrimiento de hidrocarburos en los meteoritos, lo cual hizo comentar a Hermann von Helmholtz: *El carbono es el elemento característico de los compuestos orgánicos, de los cuales estan hechos los seres vivos. Quién sabe si los meteoritos que pululan por el espacio no difunden gérmenes dondequiera que haya un nuevo mundo que haya llegado a ser capaz de servir de morada a substancias orgánicas.* En el fondo subyacía el problema de si existía una diferencia esencial entre los seres vivos y la materia inorgánica o si bien la vida se había originado mediante una transformación química a partir de la materia inorgánica.

El sueco Arrhenius fue quizás el primero en considerar los aspectos técnicos de la panespermia en su "Worlds in the Making", publicado en 1908, donde propone que en el vacío y bajo la acción de la radiación estelar se podrían formar pequeñas esporas, las cuales se adhererían a micrometeoroides que en su caída hacia el Sol interceptarían a la Tierra en su camino.

Sin embargo todos estos trabajos quedaron eclipsados por el trabajo de A.I. Oparin (1894–1980) y J.B. Haldane (1892–1962), los cuales demostraron que una generación espontánea de vida orgánica a partir de material inorgánico, había tenido lugar una vez en la Tierra, destruyéndose a partir de entonces, como acertadamente había señalado Darwin, las condiciones para su repetición.

A partir de una idea propuesta por H. Urey (1952), S. Miller (1953) realizó experimentos en el laboratorio sometiendo una mezcla de gases que entonces se consideraba existían en la atmósfera primordial de la Tierra ($CH_4, CO_2, NH_3$) a descargas eléctricas, consiguiéndose productos básicos para la vida como los aminoácidos. Años más tarde el propio autor (Miller & Bada, 1988) reconoció que tal proceso autóctono probablemente condujo a una concentración insuficiente de materia orgánica para el desarrollo de la vida.

Por otro lado, tal atmósfera primordial no llegó nunca a existir pues la débil gravedad terrestre junto con la existencia de un fuerte viento solar no lo hizo posible. Si el $CO_2$ fue la principal fuente de carbono para las reacciones, estas no pudieron ser muy eficientes en la producción de aminoácidos. Asimismo la radiación ultravioleta, ligada a la actividad magnética solar, era mucho más intensa hace 4000 millones de años que en la actualidad, lo que la convertía en la principal fuente de energía.

Un tema de amplia discusión ha sido el papel del azar o de algún tipo de dirección en las reacciones químicas que condujeron al origen de la vida. J. Monod señalaba *El Universo no necesita la vida, ni la biosfera, ni al Hombre, simplemente en la ruleta de Montecarlo salió nuestro número.* Según De Ley (1968) la posibilidad de ensamblar al azar las moléculas de un gen del Homo Sapiens es de $10^{217}$ a 1, es decir prácticamente ninguna. Sin embargo es evidente que esto ocurrió y por otro lado muy rápidamente. Diversas evidencias señalan que la vida en la Tierra había surgido ya hace unos 3800 millones de años ( Schopf, 1983; Schidlowski, 1988). Probablemente ruleta estaba trucada, tal como comentabamos en la sección anterior.

J.D. Bernal propuso en 1951 que la arcilla podría haber actuado como catalizador en las reacciones químicas. Estos productos se forman como resultado de una actividad ígnea sobre los silicatos. Tan pronto el agua líquida apareció en la superficie terrestre las arcillas se acumularon en los márgenes y fondos de pequeñas lagunas, en las riberas de los ríos y muy en especial en las orillas de los mares, las cuales pueden considerarse como los primeros nidos de la vida en nuestro planeta (ver Cairns-Smith & Hartmann, 1986).

Diversas experiencias han demostrado que determinados grupos de proteínas al ser calentadas a temperaturas moderadas tienden a concentrarse en pequeñas gotitas, que Oparin denominó coacervados. Estas gotas dispondrían de una membrana a través de la cual los seres primitivos podrían ir aumentando su concentración de compuestos orgánicos. Otro problema era la protección de la intensa radiación ultravioleta de aquellos días. Los coacervados parecen haberse protegido de tales efectos nocivos situándose en aguas profundas (10 metros sería suficiente) durante el día, para emigrar por la noche a zonas superficiales para abastecerse de nutrientes (Okihana & Ponamperuma, 1982).

## 8 LA VIDA EXTRATERRESTRE EN LOS MEDIOS DE COMUNICACION: LOS CANALES DE MARTE

Quizás el primer gran impacto del tema que nos ocupa sobre la sociedad fue proporcionado por la publicación en 1686 de "Entretiens sur la pluralitè des mondes" por Bernard de Fontanelle (1657–1757), en donde a través de conversaciones con una marquesa va describiendo las diversas formas de vida de la Luna y los diferentes planetas. Con respecto a la pluralidad de los mundos comentaba basándose en los vórtices de Descartes: *Si las estrellas fijas son soles y nuestro Sol el centro de un vórtice que gira en su torno, por qué no puede ser cada estrella fija el centro de un vórtice que gira alrededor de las estrellas fijas?. Si nuestro Sol ilumina los planetas, porqué no puede cada estrella fija tener planetas a los que dar luz?.*

Un siglo más tarde su éxito fue claramente superado por las publicaciones de Cammille Flammarion (1842–1925) "La Pluralitè des mondes habitès", "Les etoiles et curiositès de ciel", "Les terres du Ciel" y otras muchas obras. Fue un decidido defensor de la pluralidad de los mundos habitados. En su "Les terres du ciel" señalaba: *La vida se desarrolla sin final en el espacio y el tiempo; es universal y eterna; llena el infinito con sus armonías y reinará por siempre durante toda la eternidad.* Divulgó ampliamente en su "La planète Mars" las observaciones de alineamientos en la superficie de Marte ("canales") por G. Schiaparelli (1835–1910) y otros astrónomos.

En América el libro "Mars" de P. Lowell (1855–1916), publicado en 1895, tuvo un impacto similar a los trabajos de Flammarion. Basándose en sus propias observaciones visuales propuso que los canales eran obra de una supercivilización marciana, siendo alimentados por agua procedente de los casquetes polares. Hubo varios intentos de comunicación con los marcianos y surgieron numerosas obras de ficción como la conocida "War of the Worlds" de H.G. Wells, publicada en 1898.

En 1894 utilizando las nuevas técnicas de la espectroscopía, W.W. Campbell demostró la ausencia de vapor de agua en la atmósfera de Marte, asestando el primer golpe a la teoría de los canales. El astrónomo español José Comas Solá contribuyó también a su desmitificación con sus excelentes observaciones de Marte en 1900. Decisivos fueron los argumentos aportados por E.M. Antoniadi (1870–1944), S. Newcomb (1835–1909) y E.W. Maunder (1851–1928), demostrando los efectos producidos por la difracción y la atmósfera terrestre en las observaciones de la superficie marciana.

Desde otro campo el biólogo Wallace fue un entusiasta enemigo de los "canales marcianos" y en general de la pluralidad de vida en el Universo, señalando que las posibilidades en contra de la evolución de otros hombres o seres intelectuales equivalentes era de cien millones de millones a uno.

El final del XIX se caracterizó por un excesivo protagonismo de los astrónomos en los medios de comunicación con una defensa, pocas veces razonada, de una amplia difusión de la vida, produciendo al final un ambiente en contra la existencia de vida extraterrestre, del que son claro exponente astrónomos de primera fila como A. Eddington y J. Jeans. La penitencia de tales pecados la sufrimos todavía los astrónomos en la actualidad cuando una parte de la sociedad identifica astronomía con platillos volantes, marcianos etc.

En los años setenta el tema se reavivó con las medidas del Viking en la superficie de Marte no encontrándose evidencia alguna de vida. Sin embargo sus observaciones mostraban estructuras geológicas en forma de ríos fosiles, lo cual parece sugerir que en un pasado remoto existió agua líquida en su superficie que quizás dió lugar a alguna forma de vida (Mc Kay & Stoker, 1989; Hansson, 1991). Nuevas misiones serán enviadas a nuestro vecino planeta que perforarán y tomarán muestras de capas más profundas que el Viking, con objeto de resolver este viejo dilema.

## 9 LOS NUEVOS ATOMISTAS

El conocimiento sobre la estructura de la materia poco había avanzado desde Demócrito. El primer paso hacia adelante fue dado por John Dalton en 1808 proponiendo que todas las substancias podían formarse a partir de unos pocos elementos, mientras que en 1815 W. Prout (1785–1815) estableció que todos los elementos estaban constituídos por una misma unidad fundamental (ver Brock, 1985 para una biografía).

Hacia 1868 Dimitri Mendeleev descubrió que listando los elementos químicos, desde el más ligero (hidrógeno), al más pesado (uranio), teníamos grupos con propiedades similares a intervalos regulares. El átomo era de nuevo la unidad indivisible de la materia.

Poco más tarde, el descubrimiento de la radioactividad natural por Becquerel (1852–1908) y Curie (1867–1934) demostró que el átomo podía romperse. Así en 1897 J.J. Thompson (1856–1940) identificó los rayos $\beta$ de las desintegraciones como partículas subatómicas que recibieron el nombre de electrones. E. Rutherford (1871–1937, ver Wilson, 1983) presentó su modelo de átomo en 1911, el cual fue mejorado posteriormente por Niels Bohr (1885–1962, ver Faye, 1991) introduciendo en sus postulados las ideas de cuantificación de energía propuestas por Max Planck (1858–1947). El descubrimiento del neutrón por J. Chadwick en 1932 parecía completar el esquema de la estructura de la materia.

Mientras tanto la teoría cuántica continuó su desarrollo. En 1925 De Broglie y Schrödinger (ver Bitbol & Darrigol, 1992) propusieron una ecuación de ondas para la materia, análoga a la de Maxwell para la luz. El principio de incertidumbre de Heisenberg, y su interpretación por Bohr, vino a resaltar la capacidad del Hombre como observador de un experimento. Entre otras cosas este principio significó el final de una visión determinista del Universo, que imperaba desde los tiempos de Newton.

En el plano experimental el desarrollo de la tecnología de los aceleradores de partículas iba a permitir que en 1963 Murray Gell-Mann y George Zweig propusieran que los protones y neutrones estaban compuestos por quarks. Desde entonces se han descubierto 6 tipos de quarks diferentes dando lugar a los diferentes hadrones (protones, neutrones,...) que junto con los leptones (neutrinos, electrones, muones y partícula $\tau$) son la base de toda la materia conocida. Cada partícula tiene su antipartícula, dotada de una carga eléctrica igual y de sentido contrario. Sin embargo nuestro Universo parece mostrar un gran predominio de la materia sobre la antimateria.

Paralelamente se había ido desarrollando el conocimiento de las interacciones básicas entre las partículas. Maxwell describió en 1864 la *interacción electromágnetica* que permite la coexistencia de partículas de carga opuesta en el átomo, siendo la responsable de todos los procesos químicos necesarios para la vida y que actúa sobre las partículas con carga eléctrica. Con posterioridad la electrodinámica cuántica ha desarrollado este concepto. En 1915 A. Einstein propuso su teoría General de la Gravitación que explica la *interacción gravitatoria* que es siempre atractiva y actúa a grandes distancias y sobre todas las partículas, configurando de esta manera, a pesar de ser la interacción más débil, toda la estructura del Universo. La *interacción nuclear débil* (Fermi, 1934) actúa al nivel del núcleo atómico, permitiendo los procesos termonucleares en el interior de las estrellas, que dan lugar a la producción de los elementos químicos. A la misma escala actúa la *interacción fuerte* (Yukawa, 1935) responsable de la coexistencia de diferentes quarks dentro del núcleo y que en la actualidad es descrita por la cromodinámica cuántica. El modelo de Weinberg–Salam (1969) permitió la unificación de las interacciones electromagnética y débil a las que se unió con posterioridad la interacción fuerte en las llamadas teorías de la Gran Unificación.

Las partículas denominadas bosones son las mediadoras en las interacciones: fotón para la electromágnetica; W y Z para la débil; gluones para la fuerte y el todavía por descubrir gravitón para la gravitatoria.

El círculo de nuestro conocimiento sobre la estructura de la materia parece que esta de nuevo a punto de cerrarse. El descubrimiento del bosón responsable de la interacción gravitatoria, el del que crea la masa de las partículas (bosón de Higgs) y el incorporar la gravedad a las teorías unificadoras de las interacciones esta a punto de lograrse. Sin embargo el conseguir en los aceleradores las energías necesarias para la unificación de las interacciones (billones de Gev) pertenece todavía al mundo de los sueños.

Ahora bien parece ser que tal situación se produjo al principio de nuestro Universo. Por lo tanto el estudio de la evolución del Universo en sus fases más tempranas nos va a ofrecer una alternativa a la utilización de grandes aceleradores para el estudio de la estructura de la materia. En cierta forma se va a describir un recorrido inverso al desarrollo teórico y tecnólogico, progresando desde un estado unificado a la diversidad de interacciones.

W. de Sitter en su modelo cosmológico de 1916 fue el primero en considerar que nos encontrabamos en un Universo en expansión lo cual fue propuesto en más detalle por Friedmann (1922). De ello parecía concluirse un origen del Universo a partir de una singularidad inicial: la gran explosión ("Big Bang") caracterizada por un estado inicial en el que toda la materia y la energía estaban concentradas (Lemaitre, 1933). Se supone que entonces las cuatro interacciones citadas estaban unificadas y la materia constituída por quarks y leptones (y sus antipartículas) junto con gran número de fotones. A los $10^{-30}$ seg. se había producido ya un exceso de materia sobre la antimateria y comenzaron a diferenciarse las interacciones con una intensidad diferente.

En un breve instante ($\simeq 10^{-35}$ seg) de esta primera fase el Universo sufrió un crecimiento exponencial en el mo de expansión (Universo inflacionario) lo cual configuró el ritmo de expansión actual (ver p.ej Linde, 1990).

Durante los primeros miles de años la radiación era suficientemente intensa como para mantener ionizada la materia, permaneciendo los electrones alejados de los núcleos. Cuando la temperatura bajó a $10^4$ grados, a los 300.000 años, los núcleos de H y He capturaron electrones libres, produciéndose el desacople entre radiación y materia. El paso siguiente fue la formación de las primeras galaxias. De dónde surgieron las anisotropías necesarias para tal proceso en una expansión homogénea es un tema de candente actualidad. Elementos más ligeros como

el Hidrógeno, Helio y Litio se habrían formado durante el primer millón de años después del "Big Bang".

El descubrimiento por E. Hubble (1887-1953), en 1929, del desplazamiento al rojo de las galaxias y la radiación de fondo detectada por A. Penzias y R. Wilson en 1963 constituyen el principal apoyo de esta teoría. A esto se puede añadir el buen acuerdo de la abundancia predicha del He por el modelo standard del Bing-Bang con las observaciones.

Dependiendo de la masa del Universo, la expansión podría continuar para siempre o bien retornar a otro estado singular inicial dando lugar a una serie sucesiva de Universos en contracción y expansión. La determinación de una posible masa del neutrino junto con la demostración de la existencia de toda una serie de partículas exóticas, esta en estos momentos en el punto de discusión sobre este tema.

Si bien considerado como uno de los "dogmas" de la Astrofísica actual, este modelo no ha estado exento de críticas, entre las que destacaríamos las procedentes de la teoría del estado estacionario (Bondi & Gold, 1948; Hoyle, 1948).

## 10 LA EVOLUCION ESTELAR

A finales del siglo pasado, las evidencias de una gran antigüedad para la Tierra y en general para el Sistema Solar, cifrada en millones de años, hizo plantearse el problema de la generación de energía en el Sol. Dado que había que excluir cualquier combustión química tradicional, H. Helmoltz (1821-1894) y W. Thompson (conocido como Lord Kelvin, 1824-1907) propusieron que las estrellas obtenían su energía de su contracción gravitacional. Sin embargo pronto se vió que en pocos millones de años se habrían acabado las reservas. Esto llevo a considerar otras fuentes de energía y de paso a desarrollar una de las ramas más florecientes de la Astrofísica: la evolución estelar.

Un grupo de astrónomos de Harvard, bajo la dirección de A. Cannon y financiados por H. Draper, procedió a principios de siglo a la ardua tarea de clasificar los espectros de 220.000 estrellas, en los tipos espectrales *O, B, A, F, G, K, M* que es en esencia una división en temperaturas superficiales desde las más calientes a las más frías. Con posterioridad, en 1940, se introdujeron por W.W. Morgan y P.C. Keenan, las clases de luminosidad que representaban la variación de la gravedad superficial, en una escala de I a V. Así el Sol sería a partir de entonces una estrella G2 V.

El descubrimiento por R.J. Trumpler, en 1930, de la existencia de grandes concentraciones de materia entre las estrellas (nubes interestelares) iba a repercutir de forma considerable en el tema que nos ocupa al mismo tiempo que iba a originar una redeterminación de la escala de distancias en el Universo. Poco antes Jeans (1926) había elaborado los criterios para el cálculo de la masa crítica que debe poseer una nube interestelar para que comience su contracción de la que resulte una estrella. Este proceso esta gobernado por el teorema del virial que relaciona la energia térmica con la gravitacional.

Las observaciones de W. Baade, durante la segunda guerra mundial, condujeron al descubrimiento de dos tipos de poblaciones estelares: las estrellas de la población I eran jóvenes, relativas a la edad solar, se encontraban concentradas en los brazos espirales de la galaxia, con un alto contenido en metales (para los astrofísicos los elementos distintos al H y He), mostraban órbitas casi circulares y destacaban en placas fotográficas sensibles al azul. Por otra parte, las de población II eran viejas, concentradas en el núcleo y halo galáctico, compuestas casi

exclusivamente por H y He, con órbitas fuertementes excéntricas y se destacaban en placas sensibles al rojo.

El conocimiento del origen de los elementos químicos en el Universo y su distribución iba a resultar fundamental para entender las poblaciones estelares obseervadas.

R. Atkinson y F. Houtemans sugerieron en 1929 que los elementos químicos más pesados que el helio se habían formado durante diferentes fases de la evolución de las estrellas, mediante reacciones nucleares en su interior. Esta idea fue desarrollada por Bethe (1939), Gamow (1939), Alpher, Bethe & Gamow (1948) y culminada en el famoso trabajo de Margaret y Geoffrey Burbidge, Fred Hoyle y William Fowler en 1957.

La Fig. 1 muestra un esquema del llamado diagrama Hertzsprung-Russell que relaciona el brillo de una estrella (su magnitud) con su temperatura. La concentración de estrellas en una determinada banda, llamada secuencia principal, tiene su explicación en el hecho de que corresponde a la fase de evolución de mayor estabilidad y duración, durante la cual la energía se produce en su interior mediante la transformación de hidrógeno en helio. El tiempo de permanencia en esta banda va a depender de la masa estelar de forma que las estrellas más masivas (estrellas azules) consumirán más rápidamente su hidrógeno que las más pequeñas (estrellas rojas) y abandonarán antes la etapa de la secuencia principal. Esta es la fase en que podemos esperar que la vida se origine y evolucione en un planeta situado en las inmediaciones. Para las estrellas más calientes el tiempo parece ser demasiado corto para tal empresa mientras que para las más frías la zona de habitabilidad (ver subsección 13.1) sería demasiado estrecha. Cuando ha transcurrido un 10% de ese tiempo ($6 \times 10^9$ años para el Sol) la estrella empieza a contraerse gravitacionalmente para cubrir el déficit energético ocasionando que la temperatura aumente en su interior hasta alcanzar niveles que van a permitir la "quema" del Helio y su transformación en carbono (el elemento clave para la vida). Esto va acompañado por una gran liberación de energía dando lugar a la expansión de las capas exteriores hacia el medio circundante. La estrella se ha transformado en una gigante roja. Para la mayor parte de las estrellas (todas aquellas con masas menores que 3 veces la solar) la historia de la evolución química habrá terminado aquí. La estrella se irá enfriando hasta quedar transformada en una enana blanca mientras que gran parte del carbono permanecerá en su interior, sin ninguna consecuencia para la evolución química del Universo. Sin embargo, como veremos en la proxima sección, en su envoltura contaminada por los residuos nucleares tendrán lugar reacciones interesantes para la producción de moléculas orgánicas.

En estrellas más masivas nuevos procesos básicos van a seguir jugando un papel decisivo para la vida. La estrella continua sufriendo sucesivos procesos de contracción y reacciones termonucleares que van produciendo los distintos elementos químicos más pesados que el carbono (N, O, Mg, S, P, Si). Sin embargo al llegar al Fe este sufre un proceso contrario a los anteriores, absorbiendo energía en vez de producirla. Se produce una onda de choque que durante su travesía a lo largo de las distintas capas de la estrella da lugar al resto de los elementos químicos hasta el uranio y a continuación se produce una violenta explosión: una supernova. Todos los elementos químicos formados en el interior son dispersados en el medio interestelar contribuyendo al enriquecimiento en elementos pesados de las nubes del medio interestelar. De la contracción de tales nubes nacerán nuevas estrellas con un contenido cada vez mayor de elementos pesados. El esquema del ciclo se representa en la Fig. 2. Este proceso de evolución química es altamente dependiente del tiempo ya que en cada formación estelar parte del gas se va a perder, quedando inactivo en los núcleos estelares degenerados, sean estos enanas blancas (para las menos masivas), o bien estrellas de neutrones ó agujeros negros para las más masivas. La primera evidencia de la existencia de estrellas de neutrones fue a

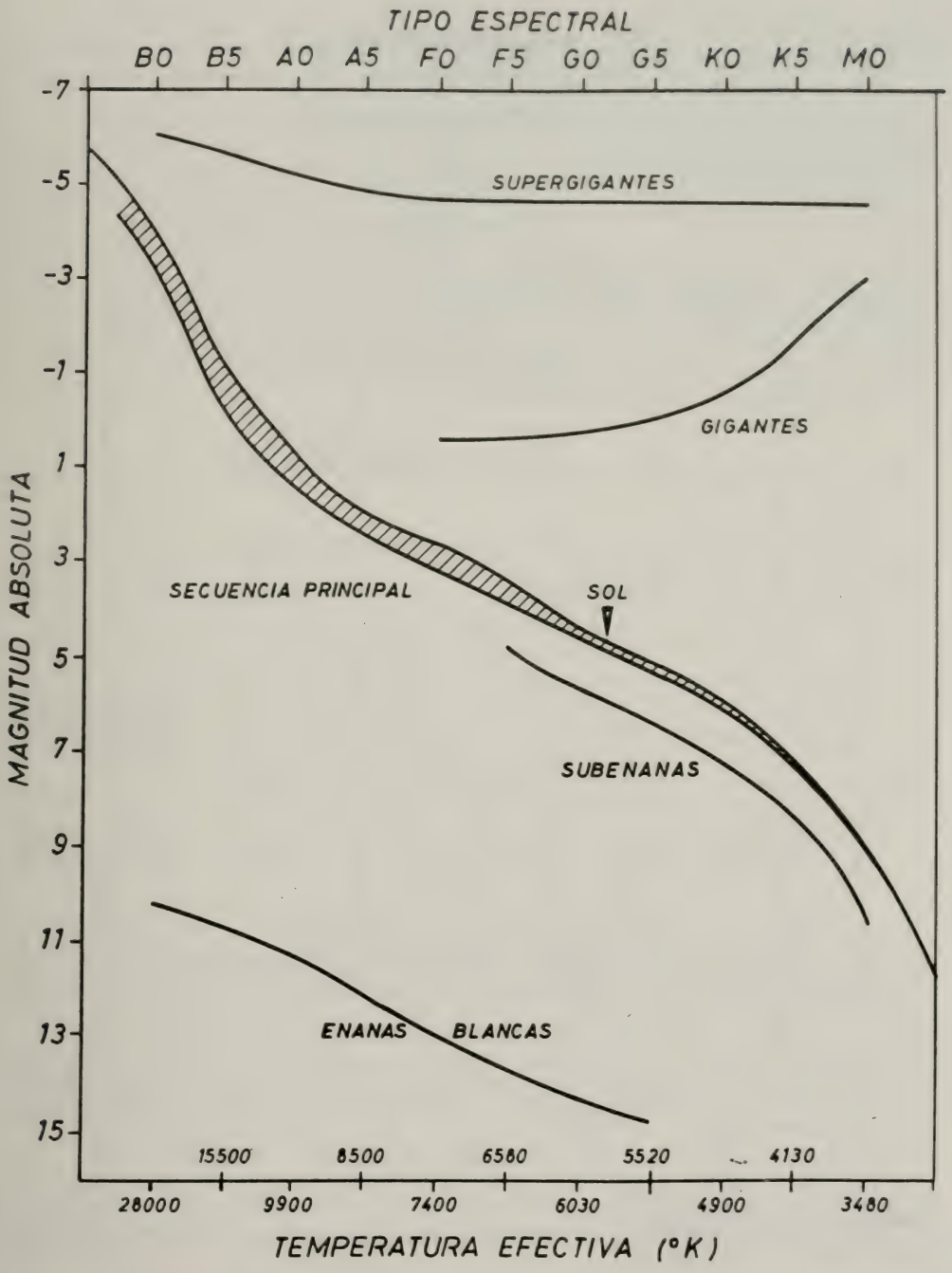


Fig. 1 DIAGRAMA HERTZSPRUNG-RUSSELL

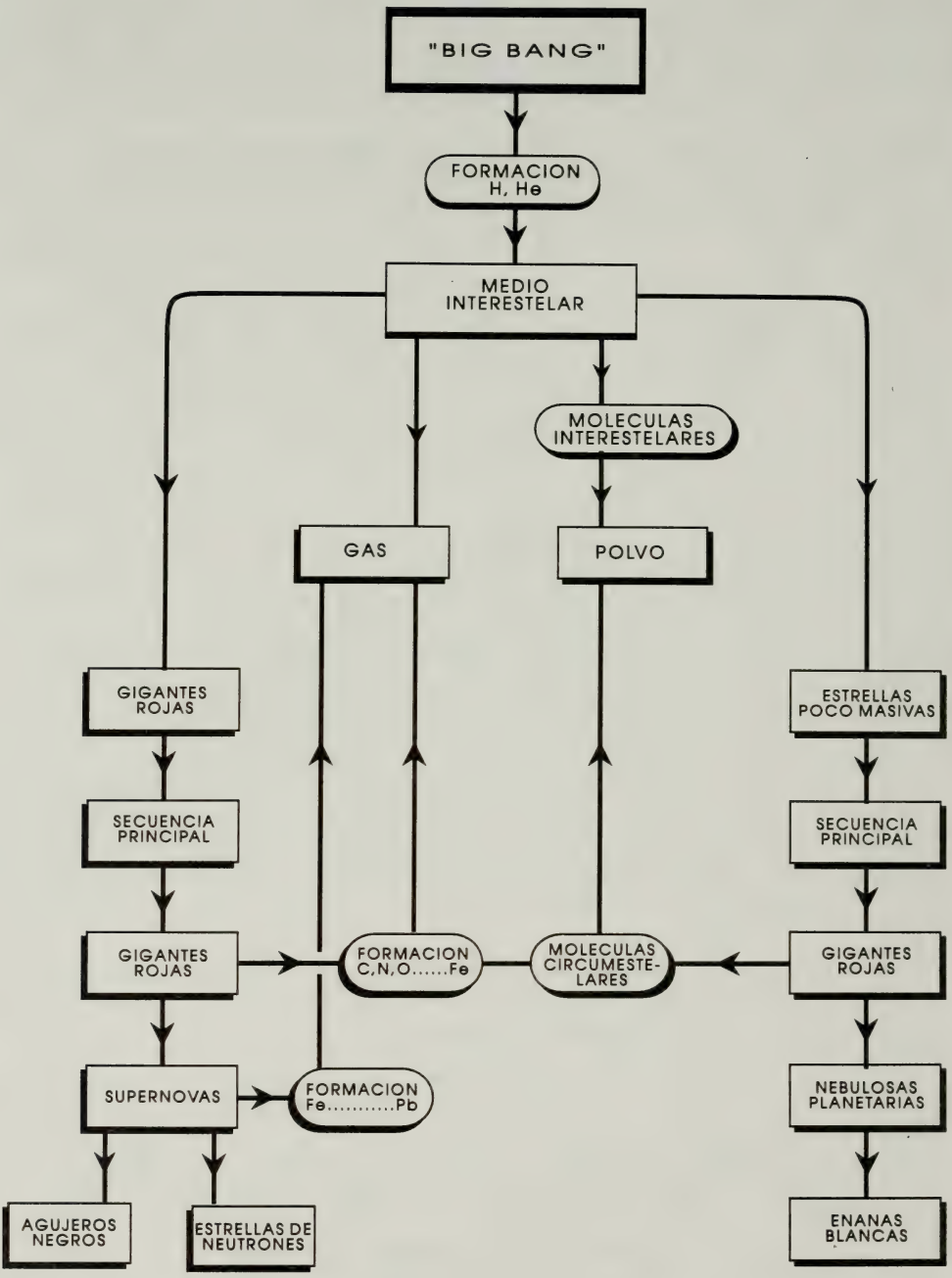


Fig: 2 ESQUEMA DE EVOLUCION QUIMICA

través del descubrimiento de los púlsares (Hewish et al. 1967), fuentes de radio de periodo muy corto. Justa esta periodicidad hizo sospechar al principio que se trataba de mensajes de civilizaciones extraterrrestres, "hombrecillos verdes" como fueron llamados por la prensa.

Como consecuencia de este proceso evolutivo observamos en galaxias viejas un gran predominio de estrellas rojas mientras que en las más jovenes (y distantes) existen grandes procesos de formación estelar y un gran predominio de estrellas azules. Son las diferentes poblaciones de Baade. Es de esperar que la vida tenga sus condiciones más adecuadas de desarrollo en una fase intermedia de la vida de la galaxia.

Las determinaciones de abundancias concuerdan bien con lo esperado de los procesos citados de nucleosíntesis. La abundancia de elementos pesados en el medio interestelar y en las estrellas aumenta con el tiempo en un lugar dado (p. ej. cercanías del Sol) y con el grado de conversión de gas interestelar en estrellas en diferentes sitios para un tiempo dado (el actual). Se han establecido diferencias en contenido en elementos pesados entre componentes de la misma población estelar; p.ej cerca del núcleo galáctico su contenido es mayor que en el halo.

## 11 LA DIFUSION COSMICA DE LA MATERIA ORGANICA

De cara a estudiar si los compuestos básicos para la vida están dispersos por todo el Universo, debemos dar un nuevo paso en el estudio de la evolución química. La vida orgánica esta fundamentada en asociaciones de átomos en los que el carbono es el elemento decisivo. La fuente de estas moléculas debe ser suficientemente fría para evitar procesos de fotodisociación y por otra, ser suficientemente densa para permitir colisiones frecuentes entre los constituyentes atómicos. Las envolturas de las gigantes rojas parecen ser un escenario adecuado y de hecho se han observado en ellas moléculas de CO, HCN, $CH_4$, CN, $NH_3$ y diversos cianopolinos del grupo $HC_{2n+1}N$. Por medio de procesos de acreción, estas moléculas se concentran formando granos compuestos en unos casos de silicatos y en otros de grafito. No por casualidad los elementos más representativos del mundo inorgánico (Si) y orgánico (C), respectivamente, hacen su aparición desde el primer momento de la fase molecular. En estas estrellas se observan grandes vientos que pueden transportar el material hacia fuera, desembocando en la fase de nebulosa planetaria en que toda la atmósfera es inyectada en el medio interestelar.

Observando en la región de las microondas Weinreb y colaboradores informaron, en 1963, del descubrimiento de la primera molécula interestelar, el OH, pero fue la detección de $NH_3$ por Cheung et al. (1968) lo que levantó la veda. Desde entonces se han descubierto más de 700, incluídas todas aquellas básicas para la vida como son los formaldeídos, agua, CNH, etc. Recientemente L. Snyder ha encontrado glicina, uno de los aminoácidos más sencillos. Actualmente se piensa que un 30% de tales substancias proceden de las estrellas mientras que el resto se ha originado dentro de la nube. J. M. Greenberg ha diseñado diversos experimentos de laboratorio que explican la formación de granos de polvo en las nubes interestelares y su protección de la acción disociadora de la radiación ultravioleta.

Ahora bien la fase de contracción de la nube molecular para dar lugar a una estrella, y eventualmente a planetas en su derredor, llevará consigo un aumento de la temperatura y por tanto la destrucción de las moléculas. Los pequeños pobladores del sistema solar, tales como cometas, meteoritos y asteroides pueden ser el almacén adecuado para tan precioso material orgánico.

El 16 de Noviembre de 1492, cayó en Ensisheim (Alemania), el primer meteorito del que se tienen muestras. A partir de entonces se han recogido miles de ellos lo cual ha permitido

clasificarlos en dos grandes tipos: los rocosos, con una contextura similar a las rocas terrestres con predominio de silicatos y los férricos con materiales similares al núcleo terrestre. Dentro de los primeros destacan las condritas que se caracterizan por la presencia de pequeños cuerpos esféricos. Un subgrupo de ellas la forman las llamadas carbonaceas en donde las inclusiones citadas están constituídas por trozos duros de mineral sobre un fondo terroso. Uno de estos objetos cayó el 8 de febrero de 1969 en Allende (Mexico) siendo analizado rápidamente por los laboratorios preparados para el estudio de las muestras lunares del proyecto Apolo. Poco después, el 28 de Septiembre, otro objeto similar fue recogido en Murchison (Australia) y a estos siguieron otros muchos rescatados de los hielos de la Antártida. La composición química de las inclusiones revelaba una parte insoluble compuesta por algo similar al carbón de piedra terrestre y otra soluble donde se encontraron gran cantidad de compuestos orgánicos, incluídos aminoácidos (Kvenvolvenden et al. 1970). Mientras que estos compuestos presentes en los seres vivos muestran una actividad óptica del tipo levógiro, los encontrados en los meteoritos mostraban ambos: dextrogiro y levógiro. Esto excluye por un lado cualquier tipo de contaminación en las muestras tomadas mientras que nos hace preguntarnos que proceso dió lugar a esta diferenciación de los aminoácidos terrestres (ver p.ej. Mason, 1984). Recientemente Ott (1993) ha demostrado la presencia de granos interestelares, formados en las envolturas de las gigantes rojas, en estos meteoritos.

Los cometas van a constituirse en los principales protagonistas del tema. Estos cuerpos se piensa que tienen su lugar de formación en la llamada nube de Oort situada en las afueras del sistema solar y en donde se acumularían del orden de $10^{12}$ cometas. Recientemente se ha propuesto la existencia de una zona más cercana a Plutón llamada de Kuiper que contendría un menor número de cometas pero sería más importante a efectos de influencias dentro del Sistema Solar. F. Whipple (1950) con su famoso modelo del "dirty snowball" fue el primero en sugerir que los cometas estaban compuestos de agua (en forma de hielo) junto con numerosos compuestos orgánicos. Esto se ha confirmado claramente con las observaciones detalladas del cometa Halley, demostrándose además que su composición química no ha sufrido cambios desde la nube interestelar progenitora del sistema solar. Delsemme (1991) estima esta composición en 43% de agua, 26% de productos orgánicos y 31% de material inorgánico. La no detección de aminoácidos en el Halley quizás se debe a la ausencia de agua líquida (Oro et al. 1995).

En los últimos años se ha ido imponiendo la idea de que los planetas gigantes habrían desviado numerosos cometas al interior del sistema solar provocando un intenso bombardeo durante la primera fase de evolución de nuestro planeta. Todo parece indicar que la primera atmósfera de la Tierra fue originada por los cometas (ver Delsemme, 1995) probablemente con una contribución adicional del volcanismo, si bien ambos mecanismos pudieron estar relacionados. Delsemme (1995) estima en unos $2.27 \times 10^{23}$ kgs la masa depositada por los cometas en un período entre 4.500 y 3.800 millones de años. Dada la citada composición química del Halley tendríamos 15 veces más agua que la presente en los océanos actuales y 2.000 veces más gases que los contenidos en la atmósfera de nuestros días. Si bien diferiendo en pequeños factores en la estima de la masa aportada diversos autores (p.ej. Chyba, 1987; Sagan & Chyba, 1992) coinciden en lo fundamental: *la Tierra recibió de los cometas su atmósfera primitiva y la materia orgánica básica para la vida.* Ya en 1961 J. Oro había propuesto que los cometas habían jugado un papel esencial en el origen de la vida en la Tierra. El agua líquida de los océanos iba a facilitar claramente la complejidad de las reacciones. Un problema que se ha planteado es el efecto disociador sobre las moléculas bióticas de la energía disipada en los impactos sobre la Tierra primitiva, si bien se considera que tan pronto quedó consolidada la atmósfera estos impactos fueron más suaves, afectando en todo caso solo a los cuerpos más grandes.

Parece existir una relación clara entre los cometas, las condritas carbonáceas, ciertos

tipos de asteroides y pequeños granos de polvo (partículas de Brownlee) que se recogen en la estratosfera terrestre.

Una propuesta, quizás demasiado audaz, ha sido realizada en los últimos años por F. Hoyle y colaboradores. Según esta idea, los granos de la materia interestelar, y por lo tanto de los cometas, serían en realidad virus y bacterias que habrían sido el origen de la vida sin necesidad de otros procesos. Tendríamos así un tipo de panespermia directa. Aparte de que las evidencias observacionales tienen muchos puntos débiles, tendríamos que preguntarnos como un ser vivo pudo sobrevivir hasta la llegada a nuestro planeta. En este sentido W.M. Irvine propuso que la desintegración de elementos radioactivos como el $^{26}Al$, pudo haber proporcionado el calor necesario para que el agua permaneciese líquida en el interior de los cometas. La influencia del vacío ha sido investigada en el Spacelab I con muestras de B. Subtilis y E. Coli señalándose un aumento en la mortandad de un 50%, creciendo igualmente las frecuencias de procesos de mutación en un factor diez (ver Horneck, 1981).

La igualdad de leyes físicas en cualquier parte del Universo junto con la difusión universal de los compuestos químicos básicos para la vida y la creciente comprensión de que nuestro sistema planetario se había constituído como una fase en la evolución del Sol, hizo fundamentar el principio de plenitud y la aceptación general de que la vida era un fenómeno universal. Teníamos asentadas así las bases del llamado *principio cosmológico*: no solo es la posición del sistema solar la que no tiene privilegio alguno, sino que tampoco lo tiene ninguna otra posición en cualquier parte del Universo. A gran escala del Universo, aparte de irregularidades locales como las galaxias, todas las regiones del Universo son iguales.

Sin embargo, al mismo tiempo y partiendo de los mismos hechos básicos se habían desarrollado otras ideas.

## 12 EL PRINCIPIO ANTROPICO

Estudios cosmológicos basados en la teoría del "Big Bang" y los procesos subsiguientes, indicaban que la existencia de vida en el Universo dependía de que las constantes de la naturaleza se mantuvieran dentro de unos márgenes estrechos. Así por ejemplo, pequeñas variaciones de la carga del electrón $e$, impedirían cualquier clase de reacción química y la existencia de estrellas estables con sistemas planetarios susceptibles de albergar vida.

G. Leibniz (1646–1716) había sido un precursor de estas ideas. Como señalaba en su teoría de las mónadas: *Existen un número infinito de posibles Universos y como solo uno de ellos puede ser real, debe haber una razón suficiente para la elección de Dios, que le condujo a decidirse por uno más que por otro y esta razón puede encontrarse solamente en la adecuación o grado de perfección que estos mundos poseen.*

En las ideas de Teillard de Chardin (1876–1951) y en su evolución del Universo hacia un Punto Omega de perfección, se señala ya una discusión de base entre un origen de la vida predeterminado y uno apoyado en el azar como principal agente de los procesos químicos que dieron lugar a la vida en la Tierra. En su modelo la inteligencia predominará sobre la muerte térmica del Universo predicha por la segunda ley de la termodinámica.

Paul Dirac señaló en 1937 la coincidencia entre una serie de grandes números que se formaban con constantes físicas fundamentales. Estas eran:

a) relación entre las fuerzas electricas y gravitacionales que se ejercen entre un protón y

un electrón

$$N_1 = \frac{e^2/r^2}{G\frac{m_e m_p}{r^2}} \simeq 10^{40} \tag{1}$$

siendo $e$ y $m_e$ la carga y la masa del electrón respectivamente, $r$ el radio atómico, $G$ la constante de gravitación y $m_p$ la masa del protón.

b) el radio del Universo expresado en unidades atómicas, o dicho de otra forma, el tiempo que tarda la luz en recorrer el Universo, es decir, su edad si estamos en un Universo en expansión, dividido por el tiempo que tarda en recorrer un núcleo atómico

$$N_2 = \frac{tiempo\ actual}{e^2/m_e c^3} = \frac{10^{10}(\text{años})}{10^{-22}(\text{seg})} = \frac{10^{10}\ (\text{años})}{3.17 \times 10^{-30}\ (\text{años})} \simeq 10^{40} \tag{2}$$

c) a estas cantidades se añadió una que depende de la edad del Universo: el número de partículas materiales en el Universo, también conocido como número de Edddington

$$N_3 = \frac{\text{Masa total del Universo}}{\text{Masa atomo de hidrogeno}} = \frac{4\,\pi \rho_u (ct)^3}{3\,m_p} \tag{3}$$

siendo $\rho_u$ la densidad media del Universo, c la velocidad de la luz y (ct) el radio del Universo que irá variando con el tiempo $t$. $N_3$ será $\simeq 10^{2\times 40}$ para $t \simeq 10^{10}$ años, el orden de magnitud de la edad actual del Universo.

Es esto simplemente una casualidad?. Como la edad del Universo es lógicamente una variable, Dirac propuso que $G$ variaría también con el tiempo de cara a conservar la igualdad entre los ordenes de magnitud de $N_1$, $N_2$ y $N_3$ para todas las edades del Universo. Sin embargo diversas evidencias favorecen claramente una constancia de $G$ con el tiempo. De cara a resolver este problema entra en juego la existencia de vida. En el momento en que el Universo posea "observadores", ha de ser suficientemente antiguo como para haber producido los elementos quimicos pesados que dieron lugar a la vida. Este tiempo ha de ser como mínimo similar al de la vida media de las estrellas dada por

$$t_\star \sim [\frac{Gm_p^2}{hc}]^{-1} \frac{h}{m_p c} \simeq 10^{10}\text{años} \tag{4}$$

que es el tiempo necesario para establecer la igualdad de $N_3$ con $N_2$ y $N_1$. Por otro lado, si el Universo fuera mucho mayor, y por tanto más viejo, las estrellas necesarias para establecer las condiciones de vida habrían tenido tiempo suficiente para completar su evolución y agotarse. Por tanto, solo tiene sentido aplicar aquella edad del Universo para la que existen observadores, es decir la actual.

El ritmo de expansión resultante del proceso inflacionario que ocurrió al principio del Universo, es otra de las caracteristicas básicas del Universo. Si este hubiera sido más lento se hubiera impedido la formación de estructuras a pequeña escala tales como átomos, moléculas etc. En una expansión más rápida no se habrían formado estructuras a gran escala como planetas, estrellas, etc. En ambos casos la vida no habría sido posible.

El principio basado en estas ideas es llamado antrópico y puede formularse de dos formas diferentes:

a) Formulación débil (Dicke, 1957). *Hemos de tener en cuenta que nuestra posición en el mundo es necesariamente previligiada de cara a ser compatible con nuestra existencia como observadores, es decir, el Universo debe ser consistente con la existencia de vida inteligente.*

En un Universo en expansión esto va ligado a un Universo grande. Es decir el Universo que contemplamos es así de grande ya que esto esta ligado a la edad que habría que tener para que la vida se originase en su seno.

La existencia de seres vivos es posible tan solo en un pequeño intervalo de variación de las constantes de la Física. Lo mismo se puede decir de las relaciones de intensidad entre las cuatro interacciones fundamentales. Todo esto quedó fijado en los primeros instantes del Universo. En frase de T. Gold: *las cosas son como son, debido a que fueron como fueron.*

b) Formulación fuerte (Carter, 1974): *El Universo, y por tanto las constantes físicas de las que depende, debe ser tal que permita la existencia de observadores en su seno en alguna fase de su evolución.* Se basa en una explicación de la mecanica cuantica, desarrollada por Everett (1957). A partir de estas ideas Carter desarrolla el *principio de la realidad* según el cual solo se considera como real aquel Universo que sea compatible con la vida. Más tarde Wheeler (1977) introdujo el *principio de participación*: El observador es tan esencial para la creación del Universo, como el Universo es para la creación de un observador.

Podríamos tener una especie de selección natural darwiniana a escala universal. Solo el Universo compatible con la existencia de vida podría ser real. En cierta forma volveríamos al pensamiento de Pitágoras: *El Hombre es la medida de todas las cosas.*

Una variante de un origen único esta empezando a surgir a partir de las teorías del Universo inflacionario (Barrow, 1993; Linde, 1995). Según estas cada región del Universo podría haber surgido de una singularidad en el pasado y acabar quizás en otra en el futuro. Sin embargo en otras regiones se podrán crear otras burbujas de inflación creando otros mini-Universos en donde las leyes de la Fisíca y los ritmos de expansión no tendrían que ser iguales que las existentes en nuestra región.

Al plantearnos la causa del origen del Universo nos encontramos con un problema similar al del origen de la vida con dos posibilidades: a) consecuencia del puro azar (una fluctuación del vacío?) o bien b) un origen controlado por un cierto determinismo.

Carr & Rees (1979) fueron los primeros en exponer diversas críticas al modelo antrópico. Por un lado pueden existir formas de vida diferentes a la nuestra, no explica el valor exacto de las constantes, tan solo su orden de magnitud y , especialmente en su formulación fuerte, no es en absoluto verificable.

Los trabajos de Brewer (1983), Barrow & Tippler (1987) y Bertola & Curi (1993), describen en amplitud los diferentes aspectos de este principio. En esta última obra se incluyen diversos artículos con críticas al principio que nos ocupa.

## 13 PRIVILEGIOS DEL PLANETA TIERRA

Siguiendo la línea de pensamiento del principio antrópico podemos preguntarnos hasta que punto han confluído en nuestro planeta una serie de casualidades que llevaron a que pudiera fructificar una materia orgánica la cual esta diseminada por todo el Universo. En gran parte la existencia de estos privilegios iría en contra del principio de plenitud y apoyaría aunque solo parcialmente, al principio antrópico.

### 13.1 Zonas de habitabilidad

El desarrollo de la vida en la Tierra ha necesitado una gran estabilidad en las temperaturas impidiendo tanto caer en una glaciación total que impida la existencia de agua líquida como en un efecto invernadero del tipo que existe en la atmósfera de Venus. Diversos cálculos (Dole, 1968; Hart, 1979) demuestran que esto solo es posible en un intervalo muy estrecho de distancias a la estrella (de -5 % a + 1% de la distancia media actual de la Tierra al Sol, para estrellas similares al Sol), siendo más estrechos e incluso desapareciendo para estrellas más frías. Si bien para las estrellas más calientes las condiciones son más favorables, su reducido tiempo de estancia en la secuencia principal hace improbable el desarrollo de vida en sus alrededores.

### 13.2 Masa planetaria

Si bien Marte recibió mayores aportes cometarios, debido a su proximidad al cinturón de asteroides, parece que su relativamente pequeña masa (1/10 de la terrestre) ocasionó la pérdida de agua de la superficie marciana al no poder retener los componentes volátiles debido a su menor campo gravitacional (ver Carr, 1986).

El movimiento de las masas continentales en la Tierra ha jugado un claro papel en la estabilidad del clima y el desarrollo de la vida. Parece que Marte debido a su menor tamaño no fue capaz de mantener una actividad geotérmica para producir tales movimientos, siguiendo así una evolución más similar a la Luna.

Tenemos así un primer requerimiento fuerte sobre la masa del planeta, que se suma al de la distancia a la estrella.

### 13.3 Extinciones catastróficas

Desde su descubrimiento en 1770 los reptiles gigantes despertaron gran curiosidad, en especial debido a su repentina desaparición hace 65 millones de años (Ma), a finales del período Cretácico. Junto a ellos desaparecieron el plancton marino, diversos moluscos y todos los animales terrestres con un peso mayor que 25 kilos, significando en conjunto un 75% de las especies existentes. Esta catástrofe produjo un rápido avance de los mamíferos, dejando el camino libre para la aparición del Homo Sapiens.

Ya en 1956 De Laubenfels había señalado que la extinción se había producido por un cambio brusco de temperatura. En 1980 L. Alvarez y sus colaboradores demostraron la existencia de altos contenidos de Iridio y Osmio en sedimentos de la transición Cretacico-terciario situados en Gubbio (Italia). Estas medidas se fueron extendiendo a otras zonas del planeta, poniéndose de manifiesto que si bien las concentraciones variaban de un lugar a otro, se trataba de un fenómeno a escala planetaria. Despues de descartar diversas hipótesis (supernova, paso nube interestelar, etc) quedó la del impacto con un meteorito de unos 10 kms de diámetro como la más plausible (Alvarez et al. 1984). Según esta hipótesis una gran cantidad de polvo fue inyectada en la estratosfera a consecuencia de la colisión permaneciendo allí varios años durante los cuales se bloqueó el paso a la luz visible, provocando la interrupción del proceso de la fotosíntesis, básico en la cadena alimentaria de los dinosaurios.

El descubrimiento de dos aminoácidos en dichos sedimentos (Zhao & Bada, 1989) parece señalar a un cometa (o bien a una condrita carbónacea) como el objeto protagonista del im-

pacto. Los aminoácidos son la isovalina y el ácido $\alpha$-aminoisobutirico, que no son comunes en la actividad biólogica terrestre pero si están presentes en los citados meteoritos. El hecho que tales compuestos orgánicos estén presentes en los bordes del sedimento ha hecho proponer a Zahnle & Grinspoon (1990) que estos fueron depositados en la atmósfera terrestre independientemente del impacto, con lo que de paso se evitan los procesos de disociación de las moléculas por la energía liberada en la colisión. Como señalamos anteriormente se detectan en la actualidad en nuestra atmósfera pequeñas partículas de polvo con un origen cometario y meteoritico. Al barrer la Tierra dicho polvo, los aminoácidos se habrían depositado en la superficie terrestre antes o después de la colisión del cuerpo del que procedían. Este mecanismo pudo haber significado una contribución adicional importante de material orgánico para el origen de la vida en la Tierra (Anders, 1989).

Raup & Sepkoski (1984) y Rampino & Stothers (1984) propusieron la existencia de periodicidades de 26 y 30±1 Ma, respectivamente, en los grandes procesos de extinción de especies biologicas. Así hace 34 Ma, entre el Eoceno y el Oligoceno, se señalan grandes extinciones entre los mamíferos volviéndose a detectar anomalías en la abundancia de iridio en tales estratos. Asímismo el tránsito del Pérmico al Triasico, hace 225 Ma, vino marcado por la desaparición del 90 % de las especies de aguas superficiales. La búsqueda del mecanismo capaz de producir tales periodicidades fue el siguiente interrogante a resolver. Las explicaciones que surgieron tenían en común la perturbación periódica de la nube de Oort y la subsiguiente eyección de pequeños cuerpos al interior del sistema solar. De entre ellas la única que ha subsistido es la de la oscilación del Sol alrededor del plano galáctico con un semiperíodo de 32 millones de años (Schwartz & James, 1984) el cual ha sido reducido a la mitad por Das & Rana (1993). Trabajos sobre impactos en la Tierra a partir de dataciones de cráteres dan períodos entre 28 y 32 millones (Alvarez y Muller, 1984; Stothers, 1985). Si bien el mecanismo es plausible existen todavía muchas diferencias en las frecuencias implicadas en la periodicidad.

El reciente impacto del cometa Shoemaker–Levy contra Júpiter nos ha recordado que tales colisiones siguen teniendo lugar en la actualidad. Además de los cometas los llamados objetos Apolo-Amor cruzan la órbita terrestre. Recientemente Asher et al. (1993) han determinado que a escalas temporales relevantes para la Humanidad, dichos procesos están gobernados por periodicidades entre $10^2$ y $10^4$ años, más que por procesos al azar. Chapman & Morrison (1994) han estimado en 10.000 a 1 la probabilidad de un impacto de un cuerpo grande ($\simeq$ 2 km de diámetro) con la Tierra durante el próximo siglo.

### 13.4 Las pantallas de protección

Además del problema de estabilidad de temperatura, la vida necesitaba protegerse para su desarrollo de dos peligros: Las partículas de alta energía y la radiación ultravioleta procedentes del Sol. Para el primer caso tenemos la existencia de un campo magnético cuya intensidad depende de la rotación terrestre y de la amplitud de los movimientos convectivos en el fluído altamente conductor de la electricidad que existe en el núcleo terrestre. En 1953 S.K. Runcorn descubrió que la alineación de los granos de óxido de hierro en lavas volcanicas (cuyas edades se pueden datar por otros métodos) indicaban la dirección del campo magético local en la época de cristalización. Estos registros indican que el campo magnético terrestre existía ya al menos hace 3500 millones de años (Hale & Dunlop, 1984) presentando una acusada variabilidad (p.ej. Lowrie & Kent, 1983). Durante los períodos de inversión de la polaridad el campo desaparece y la Tierra queda sin protección.

Júpiter y Saturno, especialmente el primero, poseen los campos magnéticos más intensos del sistema planetario, debido a su rápida rotación junto con una zona convectiva compuesta

por hidrógeno metálico líquido. De los planetas interiores el nuestro viene a ser afortunado al respecto: nuestros 0.31 Gauss pueden comparse con el prácticamente inexistente de Venus (Periodo de rotación $\simeq$ 244 días) o los 0.0006 Gauss de Marte. Dado que Marte tiene un período de rotación similar al nuestro parece que de nuevo la masa planetaria, condicionando la estructura del interior, es la responsable de nuestra favorable situación. Las variaciones de rotación entre los planetas pueden tener su origen en diferentes impactos sufridos durante las primeras fases de evolución del sistema solar.

Una segunda pantalla es la formada por la capa de ozono $O_3$ que nos defiende de la acción de la radiación ultravioleta, especialmente de la de 280 nm, peligrosa por su poder disociador sobre las proteínas. En las huellas que los primitivos seres, como bacterias y algas verde- azuladas, han dejado en las rocas más antiguas llamadas estromatolitos, se comprueba que desarrollaban su actividad sin relación con el oxígeno. En ecosistemas cerrados como la bahía de Shark en Australia se han encontrado tales seres que producen materia orgánica, p.ej. glucosa, a partir de productos inorgánicos, $CO_2$ y energía solar. Progresivamente el mecanismo fue derivando hacia la fotosíntesis actual

$$12\ H_2O + 6\ CO_2 + Energía\ solar \Longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 + 6\ H_2O \qquad (5)$$

De todas formas el ritmo de producción era bastante pequeño. Va a ser de nuevo la radiación ultravioleta más energética la que va a actuar dando lugar a la liberación de oxígeno atómico. Su posterior combinación con el molecular originó la aparición del ozono que iba a constituir una capa similar a la actual cuando la concentración de oxígeno llegó a ser un 10% del actual (ver Canuto et al. 1982). Podemos datar tal acontecimiento hace 2000 millones de años. Además de los citados procesos la existencia de una molécula como la clorofila jugó un papel decisivo en la transición a un modo de vida aerobio y la aparición de los organismos eucariotas.

Quizás no por casualidad dicha transición a nuevas formas de vida coincidió con un cambio en la actividad magnética del Sol, pasando de fuertes flujos de radiación (p.ej en el ultravioleta) con variaciones irregulares, a valores menores y con variaciones regulares como caracterizan la actividad solar en nuestros días (ver Baliunas et al. 1995).

Volviendo al tema de la estabilidad de temperaturas, si la transición de $CO_2$ a $O_2$ no se hubiera producido en esos momentos lo más probable es que hoy en día la Tierra sería un mundo sin vida como Venus, un planeta atrapado en un efecto invernadero sin retorno. La razón se encuentra en que los estudios de evolución estelar nos dicen que el Sol era un 30% menos luminoso hace 4.000 Ma que en la actualidad. Este déficit fue cubierto por el aumento de temperatura ocasionado por el efecto invernadero del $CO_2$ (ver Kasting & Grinspoon, 1991) disminuyendo el contenido de tal gas cuando su acción ya no era necesaria.

Este delicado balance entre la vida, los componentes de la atmósfera y de la corteza terrestre (litosfera, hidrosfera y criosfera) ha conducido al mantenimiento de la temperatura terrestre en un intervalo adecuado para la vida logrando que esta se haya recuperado siempre de las diferentes crisis. Partiendo de este hecho J. Lovelock ha propuesto que es la propia vida terrestre la que regula la composición de la atmósfera. El sistema de todos los seres vivos actuaría como una unidad que ha recibido el nombre de Gaia.

## 13.5 La Luna

Habíamos mencionado la necesidad de una concentración de las substancias orgánicas en las riberas de los océanos ricas en arcilla. Un claro mecanismo que lo posibilita lo constituyen las mareas. En la época del origen de la vida, la Luna se encontraba mucho más cerca

de la Tierra y por tanto estas eran mucho más intensas. Al mismo tiempo el período de rotación terrestre era más corto, con lo que tendríamos un campo magnético más intenso y un apantallamiento mayor de las partículas solares de alta energía que al igual que la radiación ultravioleta eran especialmente intensas. Por otro lado la existencia de la Luna ha traído como consecuencia una gran estabilidad en los parámetros orbitales de la Tierra (excentricidad, inclinación del eje de rotación, etc) lo cual ha permitido que las temperaturas se hayan mantenido dentro de los límites exigidos por el desarrollo de la vida.

Ahora bien la existencia de la Luna es sin duda un especial privilegio lo cual se confirma mirando nuestros alrededores. La relación *masa satélite/masa planeta* es la mayor de todo el sistema solar (todavía más acusada para los planetas interiores). Podemos preguntarnos por el origen de dicha anomalía. Despues de diversas teorías que han ido surgiendo en la actualidad parece imponerse la idea de Cameron y Ward (1976) (ver también Cameron, 1988) según la cual la Luna se formó como consecuencia del impacto de un gran objeto, con un tamaño similar a Marte, contra la Tierra. De existir una atmósfera primordial en la Tierra esta hubiera desaparecido en tal colisión.

En resumen la formación de un gran satélite alrededor de un planeta rocoso, con una masa crítica para retener una atmósfera y situado a la distancia adecuada a la estrella para la necesaria estabilidad de temperaturas, parece un signo de excepcionalidad para la Tierra.

## 14 TAREAS FUTURAS

Hemos visto que el origen de la vida en la Tierra, e incluso su desarrollo, estuvo dominado por una serie de acontecimientos catastróficos, con respecto a los que no es fácil predecir su frecuencia de aparición en otros sistemas planetarios. En cualquier caso de cara a poder trabajar con datos en los proximos años se debe de intensificar el trabajo especialmente en los siguientes campos nuevos: detección de otros planetas y búsqueda de vida.

Un dato importante es conocer la fracción de estrellas que tienen planetas. Durante su proceso de formación tenemos "a-priori" tres posibilidades: a) formación de un sistema estelar doble o múltiple. Parece ser que son el 54 % del total para estrellas similares al Sol, b) una estrella central rodeada de un disco de polvo (tal como se ha detectado claramente en el caso de $\beta$ Pictoris), a partir del cual se podrán o no formar planetas (Lagage & Pantin, 1994) y c) un sistema similar al nuestro. El parámetro que parece regular las diferentes opciones es el momento angular inicial de la nube interestelar.

Diversos métodos se han utilizado para la detección de planetas. tales como variaciones de los movimientos propios estelares, de sus velocidades radiales o mediante imagenes directas. Para sorpresa general la primera evidencia clara de planetas se ha producido alrededor de un pulsar, un resto de la explosión de una supernova (ver Phillips et al. 1992). O bien los planetas han sobrevido de alguna forma a tal cataclismo o bien se han formado como consecuencia de él. En cualquier caso no parece ser un lugar muy adecuado para la vida.

Un segundo aspecto es la búsqueda, y sucesivo contacto, de civilizaciones extraterrestres. Desde el trabajo pionero de Cocconi & Morrison (1959) tales intentos utilizan como canal las ondas de radio.

En una reunión informal en 1961, F. Drake formuló una ecuación que expresaba el número de civilizaciones existentes en nuestra Galaxia

$$N = R\, f_p\, n_e\, f_l\, f_i\, f_c\, L \qquad (6)$$

siendo R = ritmo de formación estelar
$f_p$= probabilidad de que una estrella tenga planetas
$n_e$= número de planetas por estrella con entornos favorables para la vida
$f_l$= probablidad de que se desarrolle la vida
$f_i$= probabilidad de que se desarrolle vida inteligente
$f_c$= probabilidad de que se intente una comunicación
$L$= tiempo de vida de una civilización tecnológica

Las estimas son para todos los gustos. Desde los más pesimistas que sitúan claramente N=1 a los claramente optimistas con valores de $10^8$–$10^9$. Entre los primeros se encuentran los que defienden la idea que si los extraterrestres existieran ya nos habrían visitado (Tippler, 1981) dado que la emigración interestelar sería inevitable en la evolución de una civilización tecnológica. Entre los últimos se encuentran los participantes en todos los intentos de búsqueda. En los últimos años se han concretado en experimentos a largo plazo. Entre ellos destacaríamos el proyecto META que busca señales en 8 millones de canales de banda muy estrecha. Este proyecto esta financiado por donaciones a la Planetary Society y por el conocido cineasta Steven Spielberg. Primeros resultados (Horowitz & Sagan, 1993) señalan la existencia de 55 fuentes sospechosas. Mucho trabajo queda por realizar antes de que se verifique el carácter artificial de tales señales. Además de estos métodos Sagan et al. (1993) y Leger et al. (1993) han propuesto nuevas ideas para la detección de vida a distancia, utilizando técnicas de espectroscopía en el visible e infrarrojo.

El estudio de procesos biológicos en circunstancias diferentes a la terrestre podría ser decisivo para nuestro conocimiento del tema. El satelite Titán de Saturno posee una atmósfera que se asemeja bastante a la que utilizó S. Miller para su famoso experimento. A falta de evidencias sobre la existencia de agua líquida en alguna zona de su superficie, podemos pensar en la existencia de reacciones químicas que hubieran dado lugar a una fuerte concentración de substancias bióticas y quizás a la aparición de algún tipo de vida (Sagan et al. 1992). Antes de fin de siglo la sonda CASSINI penetrará en su atmósfera proporcionando datos de primera mano sobre los procesos químicos que tienen lugar. Otros lugares atractivos para la investigación serían cuerpos con superficies cubiertas de hielo como el satélite Europa de Júpiter y los recientemente descubiertos casquetes de hielo en Mercurio (Harmon et al. 1994).


## AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Dr. J.A. Bonet sus comentarios y sugerencias sobre este trabajo.


## BIBLIOGRAFIA

Referencias de interés general


BARROW J.D.,1994, *Teorías del Todo*, Ed. Crítica, Barcelona
CROWE M.J., 1986, *The extraterrestrial Life debate 1750–1900*, Cambridge University Press
DAY W., 1984, *Genesis in planet earth*, Yale University Press
DICK S.J.,1982, *Plurality of Worlds*, Cambridge University Press
GOLDSMITH D., OWEN T., 1980, *The Search for Life in the Universe*, Benjamin Cummings Publ., New York

KAMMINGA H., 1982, "Life from Space: A History of Panspermia", Vistas in Astronomy 26, 67–86
MC KAY C.P., 1991,"Urey price lecture: Planetary evolution and the origin of life", Icarus 91, 93–100
MARX G. (Ed.), 1988, *Bioastronomy: The next steps*, Kluwer, Dordrecht
ORO J.,MILLER S.L.,LAZCANO A., 1990, "The origin and early evolution of life on earth", Annual Rev. Earth & Planetary Sciences 18, 317–356
PAPAGIANNIS M.D.,(Ed.), 1984, *The Search for extraterrestrial Life: Recent Developments*, D. Reidel, Dordrecht
PONAMPERUMA C., (Ed.)., 1981, *Comets and the Origin of Life*, D. Reidel, Dordrecht
RAUP D.M., 1986, "Biological extinction in Earth History", Science 231, 1528–1533
REGIS E. (Ed.), 1985, *Extraterrestials: Science and Alien Intelligence*, Cambridge University Press
RUSSELL R.J.,STOEGER W.R., COYNE G.V. (Eds.), 1988, *Physics, Philosophy, and Theology*, University of Notre Dame Press, Indiana
SCHOPF J.W.,(Ed.), 1992, *Major events in the History of Life*, Jones & Bartlett
STEVENSON D.J., 1987, "The origin of the Moon: The collision hypothesis", Annual Rev. Earth & Planetary Sciences 15, 271–315
WEINBERG S., 1978, *Los tres primeros minutos del Universo*, Alianza Universidad
WHITTET D.C.B., CHIAR J.E., 1993, "Cosmic evolution of the biogenic elements and compounds", The Astronomy and Astrophysics Review 5, 1–35

Referencias específicas

ALPHER R.A., BETHE H.,GAMOW G., 1948, "The origin of chemical elements", Physical Review 73, 803-804
ALVAREZ L., ALVAREZ W., ASARO F., MICHEL H.V., 1980, "Extraterrestial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction", Science 280, 1095–1108
ALVAREZ W., et al., 1984," Impact theory of mass extinctions and the invertebrate fossil record", Science 223, 1135–1141
ALVAREZ w., MULLER R.A,1984, "Evidence from crater ages for periodic impacts on the Earth", Nature 308, 718–720
ANDERS E., 1989, "Pre–biotic organic matter from comets and asteroids", Nature 342, 255–257
ARRHENIUS S., 1908, *Worlds in the Making*, Harper and Row, New York
ASHER D.J., CLUBE S.V.M., NAPIER W.M., STEEL D.I., 1993, "Coherent catastrophism", Vistas in Astronomy 38, 1–27
AVERY O.T., MAC LEOD C.M., MC CARTY M., 1944, "Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types", J. Expl. Med. 79, 137–157
BALIUNAS S.L. et al., 1995,"Chromospheric variations in Main-Sequence Stars", Astrophys. J. 438. 269–287
BARROW J.D., 1993, "Anthropic principles in cosmology", Vistas in Astronomy 37, 409–427
BARROW J.D., TIPLER F.J., 1987, *The Anthropic Cosmological Principle*, (Clarendon Press: London)
BEADLE G.W., TATUM E.L., 1941, "Genetic control of biochemical reactions in *Neurospora*", Proc. Nat. Acad. Sci. 27, 499–506
BERNAL J.D.,1951, *Physical Basis of Life*, Routledge and Kegan Paul, London
BERTOLA F., CURI U. (Eds.)., 1993, *The Anthropic Principle*, Cambridge University Press
BETHE H.A., 1939, "Energy production in Stars", Physical Review 55, 434–456
BITBOL M., DARRIGOL O. (Eds.), 1992, *Erwin Schrödinger: Philosophie et naissance de*

*la mécanique quantique*, Editions Frontieres,Gift–sur–Yvette
BONDI H., GOLD T., 1949, "The Steady–State Theory of the Expanding Universe", Monthly Notices Royal Astron. Soc. 108, 252–270
BREVER R., 1983, *Das Anthropische Prinzip*, Meyster Verlag, Munich
BROCK W.H., 1985, *From Protyle to Proton: W. Prout and the Nature of Matter*, Adam Hilger Ltd., Bristol
BURBIDGE E.M., BURBIDGE G.R. FOWLER W.A.,HOYLE F, 1957, "Synthesis of the Elements in Stars" Reviews of Modern Physics 29, 547–650
CAIRNS-SMITH A.G., HAARTMAN H.,1986, *Clay minerals and the origin of life*, Cambridge University Press
CAMPBELL W.W., 1895, "A review of the spectroscopic observation of Mars", Astrophys. J. 2, 28–44
CAMERON A.G.W., 1988, "The origin of the Solar System", Annual Review Astronomy and Astrophysics 26, 441–472
CAMERON A.G.W., WARD M.R, 1976,"The origin of the Moon", Lunar Science VII, 120–122
CANUTO V.M., LEVINE J.S., AUGUSTSSON T.R.,IMHOFF C.L., 1982, "UV radiation from the young Sun and $O_2$ and $O_3$ levels in the prebiological paleoatmosphere",Nature 296, 816–820
CARR M.H., 1986, "Mars: A water–rich planet", Icarus 68, 187–216
CARR B.J., REES M.J., 1979, "The Anthropic principle and the structure of the physical world", Nature 278, 605–612
CARTER B., 1974, "Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology" en *Confrontation of cosmological theories with observation*, M.S. Longair (Ed.), (Reidel: Dordrecht), 291–298
CHADWICK J., 1932, "Possible existence of a neutron", Nature 129, 312–315
CHAPMAN C.R., MORRISON D., 1994, "Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard", Nature 367, 33–40
CHEUNG et al., 1968, "Detection of $NH_3$ molecules in the interstellar medium by their microwave radiation", Phys. Rev. Letters 21, 1701–1705
CHYBA C.F., 1987, "The cometary contribution to the oceans of primitive Earth", Nature 330, 632–635
CHYBA C., SAGAN C., 1992, "Endogeneous production, exogeneous delivery and impact–shock synthesis of organic molecules: an inventory for the origins of life", Nature 355, 125–132
COCCONI G., MORRISON P., 1959, "Searching for interstellar communication", Nature 184, 844–846
COMAS SOLA J., 1901, "Les canaux de Mars", Societé astronomique de France bulletin 15, 122–123
CRAMER F.,1993, en *The Anthropic Principle*, Bertola & Curi (Eds.), Cambridge University Press, 117–128
DARWIN C.R., 1859, *The origin of species*, Murray, London
DAS C., RANA N.C., 1993, "Mass extinction due to the oscillation of Sun about the mid-galactic plane", Bull. Astron. Soc. India 21, 125–133
DE LEY J., 1968, Evol. Biol. 2, 103
DELSEMME A.H., 1991, en *Comets in the Post–Halley Era*, Vol. 1. R.L. Newburn et al. (Eds.), Kluwer, Dordrecht, 377–428
DELSEMME A.H., 1995, "Cometary origin of the biosphere: A progress report", Advances in Space Research 15, No.3, 49–57
DICKE R.H., 1957, "Principle of equivalence and the weak interactions", Rev. Mod. Phys. 29, 355–362
DIRAC P.A.M., 1937," The Cosmical Constants", Nature 139, 323-323

DOLE S.H., 1968, *Planetas Habitables*, Editorial Labor, Barcelona
EIGEN M., SCHUSTER P., 1978, *The hypercycle: A principle of natural self-organization*, Springer Verlag
EIGEN M., WINKLER R., 1975, *Das Spiel: Naturgesetze steuern den Zufall*, R. Piper & Co. Verlag, München
EINSTEIN A., 1916, "Grundlagen der allgemeinen Relativitäts-theorie", Annalen der Physik 49, 769–822
EVERETT H.,1957, ""Relative State" Formulation of Quantum Mechanics", Reviews of Modern Physics 29, 454–462
FAYE J., 1991, *Niels Bohr: His Heritage and Legacy*, Kluwer, Dordrecht
FERMI E.,1934, Zeitschrift für Physik 88, 161–
FLAMMARION C., 1884, *Les Terres du Ciel*, C. Marpon et E. Flammarion editeurs, Paris
FONTANELLE B., 1982, *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*, Editora Nacional, Madrid
FRIEDMANN A., 1922, "On the curvature of the space", Zeitschrift für Physik 10, 377–386
GAMOW G., 1939, "Nuclear reactions in Stellar Evolution", Nature 144, 575–577
GREENBERG J.M., 1989, "Interstellar dust as the source of organic molecules in comet Halley", Advances in Space Research Vol.9, No.2, 13–22
HALDANE J.B.S., 1928, "The origin of life", Rationalist Ann. 148, 3–10
HALE C.J., DUNLOP D.J., 1984, "Evidence for an early archean geomagnetic field: a paleomagnetic study of the Komati formation, Barbeton Greenstone belt, South Africa", Geophys. Res. Letters 11, 97–100
HANSSON A., 1991, *Mars and the development of life*, Ellis Horwood, New York
HARMON J.K., SLADE M.A., VELEZ R.A., CRESPO A., DRYER M.J., JOHNSON J.M., 1992, "Radar mapping of Mercury's polar anomalies", Nature 369, 213–215
HART M.H., 1979, "Habitable zones about Main Sequence Stars", Icarus 37, 351–357
HERTZSPRUNG E., 1905, "On the radiation of stars", Zeitschrift für wissen. Photographie 3, 429–442
HEWISH A.,BELL J., PILKINGTON J.D., SCOTT P.F., COLLINS R.A, 1967, "Observation of a rapidly pulsating radio source", Nature 217, 709–713
HORNECK G., 1981, "Survival of microorganisms in Space: a review", Advances in Space Research 1,No. 14, 39–48
HOROWITZ P., SAGAN C., 1993, " Five years of project META: An all-sky narrow-band radio search for extraterrestrial signals", Astrophys.J. 415, 218–233
HOYLE F., 1948, " A new model for the expanding Universe", Monthly Notices Royal Astron. Soc. 108, 372–382
HOYLE F., 1980, "Comets: a matter of life and death", Vistas in astronomy, 24, 123–139
HOYLE F., WICKRAMASINGHE C., 1978, *Life Cloud: The origin of Life in the Universe*, Harper and Row
HUBBLE E.P., 1925, "Cepheids in Spiral Nebulae", Observatory 48, 139–142
HUBBLE E.P.,1929, "A relation between distance and radial velocity among extragalactic Nebulae", Proc. National Academy of Sciences 15, 168–173
IRVINE W.H., LESCHINE S.B., SCHLOERB F.B., 1980, "Thermal history, chemical composition and relationship of comets to the origins of life", Nature 283, 748—749
JAKI S.L., 1978, *Planets and Planetarians*, Scottish Academic Press, Edinburgh
KASTING J.F., GRINSPOON D.H., 1991, "The faint young Sun problem" en *The Sun in Time*, C.P. Sonett, M.S. Giampapa, M.S. Matthews (Eds.), University of Arizona Press, Tucson
KVENVOLDEN K.A. et al. 1970, "Evidence for extraterrestrial amino acids and hydrocarbons in the Murchison meteorite", Nature 228, 923–926
LAGAGE P.O., PANTIN E., 1994, "Dust depletion in the inner disk of $\beta$ Pictoris as a possible

indicator of planets", Nature 369, 628-630
LEGER A., PIRRE M., MARCEAU F.J., 1993, "Search for primitive life on a distant planet: relevance of $O_2$ and $O_3$ detections", Astronomy and Astrophysics 277, 309–313
LEMAITRE G., 1931, " A homogeneous Universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 91, 483–490
LINDE A., 1990, *Inflation and Quantum Cosmology*, Academic Press, New York
LINDE A., 1995,"El Universo inflacionario autorregenerante", Investigación y Ciencia 220, 16–23
LOVELOCK J.E., 1983, *Gaia: Una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, Herman Blume Ediciones
LOVELOCK J.E., 1988, *The ages of Gaia*, Oxford University Press
LOWRIE W., KENT D.V., 1983, "Geomagnetic reversal frequency since the Late Cretaceous", Earth and Planetary Sciences Letters 62, 305–313
MASON S.F., 1984, "The origin of biomolecular handedness", Nature 311, 19–23
MC KAY C.P., STOKER C.R., 1989," The early environment and its evolution on Mars: Implications for life", Reviews of Geophysics 27, 189–214
MONOD J., 1971, *Chance and necessity*, Vintage Book, New York
MILLER S.L., 1953, " A production of amino acids under possible primitive earth conditions" Science 117, 528–529
MILLER S.L.,BADA J.L.,1988,"Submarine hot springs and the origin of life", Nature 334, 609–611
OKIHANA H., PONNAMPERUMA C., 1982, "A protective function of the coacervates against UV light on the primitive earth", Nature 299, 347–349
OORT J.H., 1950, "The structure of the cloud of comets surrounding the solar system", Bull. Astron. Inst. Netherlands 11, 91–110
OPARIN A.I., 1936, *The origin of life*, Mac Millan, New York
OPARIN A.I., 1973, *Origen de la vida en la Tierra*, (Editorial Tecnos: Madrid)
ORO J., 1961, "Comets and the formation of biochemical compounds on the Universe", Nature 190, 389–390
ORO J., MILLS T., LAZCANO A., 1995, " Comets and Life in the Universe", Advances in Space Research 15, No.3, 81–90
OTT U., 1993, "Interstellar grains in meteorites", Nature 364, 25–33
PENZIAS A.A., WILSON R.W., 1965, "A measurement of excess antenna temperature at 4080 MHz", Astrophysical Journal 142, 419–421
PHILLIPS J.A., THORSETT S.E., KULKARNI S.R. (Eds.), 1993, *Planets around pulsars*, Astronomical Society of the Pacific, Vol. 36
RAMPINO M.R., STOTHERS R.B.,1984, "Terrestrial mass extinctions, cometary impacts and the Sun's motion perpendicular to the galactic plane", Nature 308, 709–712
RAUP D.M., SEPKOSKI J.J., 1984, "Periodicity of extinctions in the geological past", Proc. Nat. Academy of Sciences 81, 801–805
RUSSELL H.N., 1914, "Relations between the spectra and other characteristics of stars", Popular Astronomy 22, 275–294
SAGAN C., THOMPSON W.R., KHARE B.N., 1992, "Titan: A Laboratory for prebiological organic chemistry" Accounts of Chemical Research 25, 286–292
SAGAN C. et al., 1993, "A search for life on Earth from the Galileo spacecraft", Nature 365, 715–721
SCHIDLOWSKI M., 1988, "A 3.800 million-year isotopic record of life from carbon in sedimentary rocks", Nature 333, 313–318
SCHOPF J.W.,(Ed.), 1983, *Earth's earliest biosphere: Its origin and evolution*, Princeton University Press

SCHWARTZ R.D., JAMES P.B., 1984, 1984, "Periodic mass extinctions and the Sun's oscillation about the galactic plane", Nature 308, 712–715
SHAPLEY H., CURTIS H.D., 1921, "The Scale of the Universe", Bull. National Research Council of the National Academy of Sciences 2, 171–217
de SITTER W., 1916, "On Einstein's theory of gravitation, and its astronomical consequences", Monthly Not. Royal Astron. Soc. 76, 699–728
SLIPHER V.M., 1917, " A spectroscopic investigation of Spiral Nebulae", Proceedings of the American Philosophical Society 56, 403–409
STOTHERS R.B., 1985, "Terrestrial record of the solar system's oscillation about the galactic plane", Nature 317, 338–341
SUMMER J.B.,1926, "Isolation and crystallization of the enzyme urease", J. Biol. Chem. 69, 435–440
TIPPLER F.J., 1981, "Extraterrestial intelligent beings do not exist" , Quarterly Journal Royal Astronomical Society 21, 267–281
TRUMPLER R.J., 1930, "Preliminary results on the Distances, Dimensions and Space Distribution of Open Star Clusters", Lick Obs. Bull. 14, 154–188
UREY H., 1952, "On the early chemical history of the earth and the origins of life", Proc. Nat. Acad. Sci. 38, 351–363
WATSON J.D., CRICK F.H.C., 1953, "A structure for deoxyribose nucleid acid", Nature 171, 737–738
WEINBERG S., 1980, "Conceptual Foundations of the unified Theory of Weak and Electromagnetic Interactions", Science 210, 1212–1218
WEGENER A., 1929, *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, Friedrich Vieweg & Sons
WHEELER J.A., 1977, en *Foundational Problems in the Special Sciences*, R.E. Butts, K.J. Hintikka (Eds.), (Dordrecht: Reidel), 3–33
WHIPPLE F.L., 1950, "A Comet model I: The acceleration of Comet Encke", Astrophysical J. 111, 375–394
WILSON D., 1983, *Rutherford: Simple Genius*, Hodder and Stoughton, London
YUKAWA H., 1935, "On the interaction of elementary particles", Proc. Phys. Math. Soc. Japan 17, 48–
ZAHNLE K., GRINSPOON D., 1990, "Comet dust as a source of amino acids at the Cretaceous/Tertiary boundary", Nature 348, 157–160
ZHAO M., BADA J.L., 1989, "Extraterrestrial amino acids in Cretaceous/ Tertiary boundary sediments at Stevns Klint, Denmark", Nature 339, 463–465

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 133-156 (1994)

# CANARIAN ASTRONOMY BEFORE THE CONQUEST: THE PRE-HISPANIC CALENDAR

## *LA ASTRONOMÍA EN CANARIAS ANTES DE LA CONQUISTA: EL CALENDARIO PREHISPÁNICO*

J. A. Belmonte[1], C. Esteban[1], A. Aparicio[1], A. Tejera Gaspar[2] and O. González[3]

(1) *Instituto de Astrofísica de Canarias, Vía Lactea S.N. 38200 La Laguna, Tenerife, Spain.*

(2) *Departamento de Prehistoria, Antropología e Historia Antigua, Universidad de La Laguna, Campus de Guajara, Tenerife, Spain.*

(3) *Museo de la Ciencia y del Cosmos, Cabildo de Tenerife, Avenida de los Menceyes S.N., La Laguna, Tenerife, Spain.*

**Sumario:** En este artículo se persigue un primer acercamiento al estudio de las prácticas astronómicas de los habitantes prehispánicos de las Islas Canarias. Más específicamente, vamos a tratar de estudiar el calendario en uso en Tenerife y Gran Canaria, islas en que la información existente es más abundante. Con este objetivo en mente, vamos a hacer uso tanto de las fuentes antropológicas como de los registros puramente arqueológicos (las llamadas fuentes etno y arqueoastronómicas). En la sección 1 ofrecemos una introducción, mientras que las secciones 2 y 3 se dedican al estudio de las fuentes etnográficas y arqueológicas, respectivamente. Finalmente, la sección 4 se dedica a la discusión y a describir nuestros principales resultados y conclusiones.

**Abstract:** In this paper, we pursued a first approach to the study of the astronomical practices of the pre-hispanic inhabitants of the islands. Specifically, we have tried to study the calendar which was in use at Tenerife and Gran Canaria, the islands where the available information is most abundant. With this objective in mind, we will make use of both the anthropological sources and the purely archaeological records (so-called ethnoastronomical and archaeastronomical evidences). Section 1 offers an introduction. Sections 2 and 3 are devoted to the study of these ethnographic and purely archaeological evidences, respectively. In section 4, a discussion of all the available information is presented, together with our conclusions.

## 1. INTRODUCTION.

Pre-hispanic Canarian societies do not form a homogeneous cultural context, despite of the fact they appear in the same geographical area. The islanders came very likely from the northwest of Africa and were possibly related to the *libii, maurii, getulii, maxii* or *garamantii*, ethnonyms used by Greeks and Romans when referring to the pre-roman inhabitants of this part of the continent. These populations, linguistically related to the Afroasiatic group, probably settled in the islands in an epoch not earlier than the Vth Century B.C.

Their cultural diversity may be explained, amongst other possible reasons, on the basis of a number of migrations of distinct groups throughout various epochs. This diversity is expressesd not only by the material remains, social organization and economic structure, but also –and most importantly– through several aspects of their religious world. The ecological differences between the islands (almost dessertic -e.g. Lanzarote- versus almost a paradise -e.g. Tenerife-) were also expressed by means of adaptive processes to such diverse media.

For instance, Tenerife's social and political system was characterized by a division into nine tribal territories (menceyatos). Housing was mainly in caves and small huts, and the economy was mostly based on small cattle raising and, to a lesser extent, on agriculture. Islanders employed very simple pottery, generally lacking any kind of ornaments or decorations..

Conversely, Gran Canaria presents the most evolved culture of the islands. Its hierarchical social structure resembled quite closely a proto-state. This aspect is clearly illustrated by the existence of irrigated agricultural land. Products were stocked in communal granaries, and there were a large number of tumular tombs. Houses consisted normaly of solid constructions or artificial caves, which were often painted and decorated –like pottery, much more exquisite than in any other island–. The presence of a large number of petroglyphic stations, including alphabetic, and of

religious images –small idols– has no comparison either. We will see here that these differences can also be found in the archaeoastronomical context (e.g., we found them in the different time computing systems inferred for both islands -see sect. 3-).

A slow process of cultural transformation began in the mid XIVth Century, when the islands were re-discovered by Europe. This process was reinforced by the settlement of European colonists in Lanzarote in 1402, and came to a halt with the conquest of Tenerife in 1496. This date epitomizes the final stage of the Ancient World in the Atlantic frontage of the Old World, somehow kept aside in the Canary Islands for more than 1000 years.

## 2. THE ETHNOASTRONOMICAL EVIDENCE.

The ethnoastronomical sources are rather scarce and they consist, mainly, of short references written by Europeans, or islanders that had become Europeanized, shortly before, during and after the conquest. Amongst the most notable of these are the "chronicles", written down mostly in the XVIth century, the most important being those of Sedeño [1], Espinosa [2], Abreu [3] and Torriani [4], dating from 1505, 1590, 1592 and 1594, respectively, or the later one of Marín de Cubas [5], written in 1694 A.D.

The aboriginal magical and religious world was connected with natural phenomena and the vegetative cycle, both intimately related to the calendar, as in other ancient cultures. The presence of astral divinities and cults was a constant in the islands. The Sun, called Magec in Tenerife [6], the Moon and perhaps other celestial bodies were worshiped as the oldest references point out (Ibn Jaldun in 1377 A.D. [7], Cadamosto in 1450 [8]). This evidence seems to have its material counterpart in some archaeological records as, for example, petroglyphs stations or the *pintaderas*. On the other hand, and most important for our purpose, studying the chronicles, it becomes obvious that the Sun and the Moon were in fact commonly used for time computing.

In Tenerife, Espinosa [9] informs us that the guanches *...hacían entre año, el cual contaban ellos por lunaciones, muchas juntas generales...* (...during the year, which they measured with lunations, made a lot of general assemblies...), and that *...Cuando hacían su agosto y recogían los panes, hacían juntas y fiestas en cada reino...* (...when they made their august and gathered their harvests, they made councils and feasts in every kingdom...). Besides, Torriani [10] wrote that *...Contaban el tiempo de la luna con nombres diferentes, y el mes de agosto se llamaba Begnesmet...* (...the time of the Moon was counted with different names, and the moon of August was called Begnesmet...). At this point, it is important to note that

the sufix smet has been related to the aboriginal ordinal number smet(ti), with the meaning of "second". Consequently, it has been suggested that Begnesmet might mean "second (moon)", however, this interpretation is far from being universally accepted [11].

As for Gran Canaria, Sedeño, who participated in the conquest of the island, tells us that the canarians *...contaban el año por 12 meses, i el mes por lunas, i el día por soles, i la semana por 7 soles. Llamaban al año Achano. Acababan su año a el fin del quarto mes: esto es, su año comensaba por el equinoccio de la primavera, i al quarto mes que era cuando habían acavado la sementera, que era por fines de junio, hacían grandes fiestas por nuebe días continuos, ...* (...counted the year by 12 months, the month by moons, and the day by suns, and the week by 7 suns. They called the year Achano. They finished the year at the end of the fourth month: i.e., their year started at the vernal equinox, and, in the fourth month when they had finished the sowing season, which was at the end of June, they made great festivals for nine consecutive days...).

Marín de Cubas [12], almost two centuries later, repeats a similar speech, but relating the new year to the summer solstice instead of to the spring equinox. In this sense, he wrote that the canarians *...contaban su año llamado Acano por las lunaciones de 29 soles desde el día que aparecía nueva, empesaban por el estio, quando el Sol entra en Cancro a 21 de junio en adelante, la primera conjunción, y por 9 días continuos hazían grandes vailes y convites, y casamientos haviendo cojido sus sementeras, hazían raias en tablas, pared o piedras; llamaban tara, y tarja, aquella memoria de lo que significaba...* (...counted their year by lunations of 29 suns from the day of the new moon, starting in summer, when the Sun enters Cancer from June 21st ahead, the first conjuction, and they made great dances and feasts, and marriages, for nine consecutive days, having gathered their harvests. They made scratches on tables, walls or stones, calling tara and tarja, the memory of what it meant...). It might be that the chronicler, who wrote second or even third hand, mixed information from Gran Canaria, with some scattered references about the importance of the summer solstice from all the islands like, for instance, Fuerteventura [13].

However, there is one aspect on which most of the ethnographic evidence do agree, which is the time of harvest festivals. It has been suggested [14], and seems pausible, that the differences between Gran Canaria (end of June) and Tenerife (middle of August) might be due to the different principal crops gathered on each island, barley on Gran Canaria, and wheat on Tenerife.

## 3. The ARCHAEOASTRONOMICAL EVIDENCES.

The archaeological records, both in Tenerife and Gran Canaria, are rather abundant but not always easy to interpret.

Although no historical references to ceremonial precincts exist in the island of Tenerife, several small sanctuaries have been identified on the top of several roques (the hard stone peaks, which remain from the erosion of volcanic cones) and, on some occasions, on the verge of very narrow high-passes between mountains, closed on each side by extremely steep cliffs, which are often termed degolladas or bailaderos. We have investigated several of these sites, but in this work, our discussion will be limited to those with a highly probable archaeoastronomical significance. Amongst them, we will concentrate on the largest and most impressive of these centres, located at the Degollada of Yeje (Masca), in the northwest of the island, and a set of precincts, with similar contexts, in the Valley of San Lorenzo (Arona), southwest of Tenerife. On the other hand, on Gran Canaria, ancient chroniclers indeed agreed on the existence of sacred precincts –often called almogaren(es)– in many settlements, and also on the summits of the most attractive mountains in the island [15,16]. In this work, we will deal with two of the most impressive of these sanctuaries: those at Roque Bentayga (Tejeda) and Cuatro Puertas (Telde).

The work has comprised the study of the rising and setting of the Sun at different epochs, in particular at solstices and equinoxes; the rising and setting of the Moon, in particular on its major and minor standstills (lunastices); and the more specific cases of the rising of the full-moon following the solstices. However, for completeness, other astronomical events, such as the rising and setting of certain stars and asterisms, have also been investigated. Every possible event has been determined considering, when necessary, the corrections for refraction, horizon depression, horizon irregularity and, in the case of the Moon, parallax. The secular effects, such as precession or ecliptic obliqueness ($\epsilon$) variability have also been taken into account where appropriate. Most of the measurements were performed using high precision compasses, correcting for the magnetic declination at each site although, in some cases, a surveyor transit was used (see [17] for a complete description of all this phenomenology). All the measurements can be considered as well-based, since some kind of independent astronomical verification (such as the rising or setting of a celestial object) has been generally performed.

3.1. The Sanctuary at the Degollada de Yeje (Tenerife).

This sacred settlement receives different names in the literature: Roque Tarucho, Quesera de Masca, Pico Yeje, etc... [18]. However, the term we have chosen here is geographically, perhaps, the most appropriate. The sanctuary consists of a burial cave, some shepherd taros (refuges), several rock carved ritual basins, of a variety of sizes, and various petroglyph stations, extending for nearly 300 m along the edge of an 800 m high degollada, with more than 200 m high cliffs on both sides. Figure 1 illustrates the northern nucleus of the sanctuary, where three basins and a horizontal circular radial petroglyph, amongst other items, are deeply engraved on the very hard rock-bed. The petroglyph has been interpreted as a representation of the ancient inhabitants (guanche) god of the Sun, Mageb [19].

However, what is really striking is the extremely impressive and attractive horizon visible from the site. The east side is dominated by the Cumbres (Heights) of Masca, more than 1000 m high, and the presence of the highest peak in Tenerife, the still active Teide volcano, which is first visible from precisely that spot when walking south along the degollada, coming from the single easy access point. The west side opens towards the sea, where the lesser islands of Gomera and La Palma disrupt the otherwise flat horizon, providing two explendid foresights. Finally, the north and south views are occupied by the nearby mountains connected across the degollada. Incidently, three radii of the petroglyph point in the general directions of sunrise at summer solstice ($\Sigma_\odot$ hereafter), sunset at the same epoch ($\Pi_\odot$ hereafter) and sunset at winter solstice ($\pi_\odot$ hereafter), respectively. The accuracy is fine in the first case and, in the other two cases, the situation is indeed more apealling, since sunsets take place over conpicuous and very distant foresights, the highest peaks of La Palma (Roque de los Muchachos) and Gomera (Pico Garajonay), respectively, as we demonstrate in Figure 2.

On the other hand, when staying at the site, it seems obvious that the visibility of Teide from the spot must have been an important task. In this sense, it is curious to note that the August full-moon (i.e. the one of Begnesmet) rises behind Teide (covering roughly 15°) during most of the 19 year node precesion period. Whether this phenomenum was important or not, to the sanctuary owners, will be discussed later on. No clear evidence of another phenomenon of strong archaeoastronomical significance has been found at Yeje. This is not surprising since, if our interpretation were correct, the place of the sanctuary would have been chosen on the basis of three circumstances (and no others are needed, apparently): the first visibility of Teide, on one side, and $\pi_\odot$, over Garajonay, and $\Pi_\odot$, over Roque de los Muchachos, as distant foresights, on the other.

**Fig. 1.** The northern nucleus of the aboriginal sanctuary on the Degollada of Yeje (Tenerife). A set of three contiguous basins, perhaps for ritual offerings, and a hypothetical solar symbol are deeply engraved in the rock.

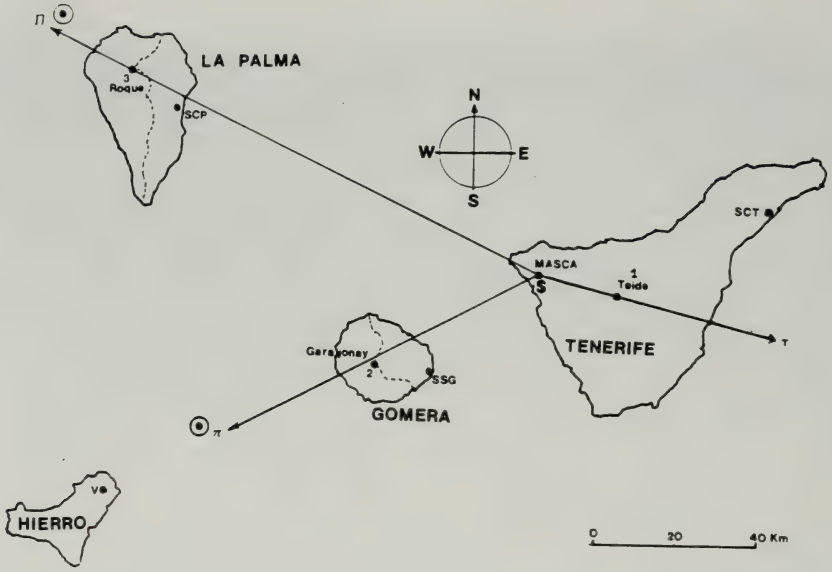


**Fig. 2.** The western Canary Islands, all them visible, under medium atmospheric conditions, from the Degollada of Yeje. If the archaeoastronomical interpretation were correct, the site of the sanctuary (and the Sun petroglyph), near the village of Masca (marked by a \$ sign), would have been chosen as the only place on the whole island of Tenerife, where the following occur simultaneously: (1) Teide (the highest peak on Tenerife) is visible; (2) the Sun sets, in the winter solstice ($\odot_\pi$), over Pico Garajonay (1487 m, highest point of Gomera island); and (3), the Sun sets, in the summer solstice ($\odot_\Pi$), over the Roque de los Muchachos (2426 m, highest point of La Palma island). Number 4 illustrates the location of the other sites studied in Tenerife: the aboriginal centres of the Valley of San Lorenzo.

3.2. The Sanctuaries of the Valley of San Lorenzo (Tenerife).

There is one sacred enclosure in this valley which can be considered to belong to a geographycal and archaeological context similar to the one studied before. This is sited at 340 m above sea level on the north-east slope of a mountain in the centre of the valley and it is known as the ceremonial centre of Roque de la(s) Abejera(s) [20]. The zone contains several sacred places, burial caves, and petroglyph sites placed on the summits of various roques. However, La Abejera is distinguished for three specific qualities, which make it directly comparable to the Yeje precinct: first, the visibility of the very top of Teide over the otherwise virtually flat mountanous northern horizon; second the presence of ritual basins and channels; and third, the presence of another horizontal circular radiate petroglyph, which is shown in Figure 3. This second "solar" glyph is quite small and, unfortunately, has been broken, possibly following a breakage in one of the radii, which have been numbered from 1 to 4. Radii 1 and 2 seem to bear no direct astronomical justification. Instead, they rather point in the general direction of the distant mountain of Teide and the impressive, 600 m high, Roque de Vento, where another engraving station is found [21]. However, it was most exciting to find that radii 3 and 4 pointed in the general directions of sunset for summer solstice ($\Pi_{\odot}$, over Risco Bisechi where another excellent petroglyph station had been found) and winter solstice ($\pi_{\odot}$, over La Abejera peak itself), respectively.

This phenomenology may seem irrelevant in itself, since the radii could have been marking sacred peaks and, in this case, any astronomy would be fortuitous. However, it is worth noting that an observer facing east would notice at close-up the presence of the verge of mountains closing the Valley of San Lorenzo, and behind it the large volcanic crater of Montaña Gorda as a distant point (see Figure 4). More important indeed, at that point of the verge, another sanctuary can be found. This is at the southern slope of Montaña Cambados, again formed by ritual basins and channels. Additionally, Teide is clearly viewed from the place and, most importantly, the archaeological context is completed by the only case of libyc alphabet inscriptions ever found in Tenerife [22]. The visibility of these prominent, distant points might have provided another reason to establish the sanctuary on the NE slope of La Abejera, since the summer solstice sunrise, seen from there, occurs exactly over Montaña Gorda and the sanctuary of Cambados, as demonstrated in Fig. 4.

From all these pieces of evidence, it follows that Montaña Gorda (as a distant foresight), and the sanctuaries of Cambados and La Abejera seem to be aligned following a solstitial line ($\pi_{\odot}$ to $\Sigma_{\odot}$). This impression is strengthened by the fact that two extra engraving stations are found, in the same solstitial line, at Roque

del Malpaso, three kilometres southwest of La Abejera and at Montaña Cabuquero, between La Abejera and Cambados. We are hence confident about the possibility that La Abejera might be the centre of a set of sanctuaries and engraving stations related to sunrise (e.g. Cambados, Cabuquero) and sunset (e.g. Bisechi) at the summer solstice.

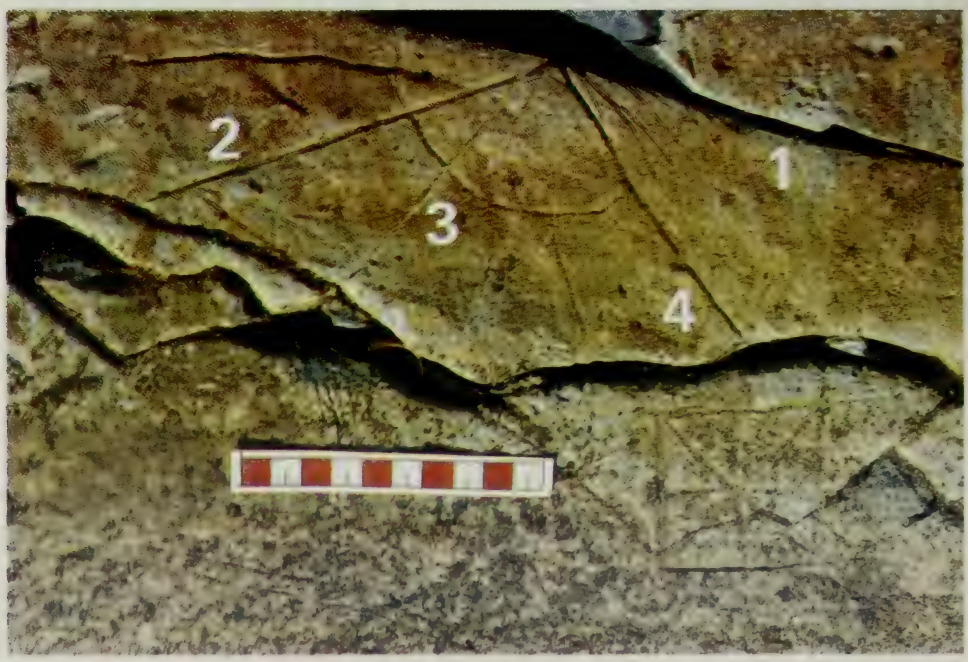


**Fig. 3.** Another horizontal circular radiate petroglyph can be found in an aboriginal sanctuary located on the north-eastern slope of Roque de las Abejeras (Valley of San Lorenzo). It is smaller and less impressive than that at Yeje. Indeed, it has been broken, having lost its original eastern (up) section. However, both its location –within a similar archaeological context (caves, channels, basins, etc...)– and a fairly atracttive and clean horizon make La Abejera a very interesting component of our study. The petroglyph is located at a point where the summit of Teide volcano is seen behind the, 2600 m high, mountain range which lies towards the north (this direction was marked by the radius followed by the fracture of the rock, i.e. radius 1). Another sacred mountain (a ceremonial precinct is found at the top), the Roque of Vento, is signaled by radius 2. The remaining radii, 3 and 4, point towards the general direction of sunset in the summer ($\Pi_{\odot}$) and the winter ($\pi_{\odot}$) solstices, respectively.

**Fig. 4.** Rising of the planet Mars, over the sanctuary of Cambados (marked by an arrow sign) and the distant foresight of Montaña Gorda, on December 5, 1992, at a declination of 23° 26'. Consequently, the trajectory followed by the planet mimics that of the summer solstice Sun, as seen from the "solar" glyph at La Abejera.

3.3. Almogaren at Roque Bentayga (Gran Canaria).

The impressive Roque Bentayga rises to 1412 m. in the middle of the huge (up to 9 km in diameter) volcanic caldera of Tejeda, in the heart of the island of Gran Canaria. The archaeological context of Bentayga is very rich, with the presence of defensive walls, artificial caves, for both living and burial, written inscriptions, petroglyph sites and, finally, on the south-east face of the peak the almogaren. Figures 5 and 6 present a plan and a snapshot of the precinct, respectively. The almogaren is surrounded by cliffs on three sides (NE,SE and SW). Consequently, the astronomical horizon mostly comprises the distant, and fairly attractive rim of the caldera, with peaks rising above 1500 m (Moriscos -1771 m-, Las Arenas -1609 m-, Las Nieves -the highest point of the island at 1949 m-, Roque Nublo -1813 m-, etc...). There are, however, some important exceptions towards the NW, hidden by the extremely steep slope of the Roque Bentayga itself (see Fig. 5), and at several degrees to the SE, hidden by some components of the almogaren itself (see Fig. 5 and 6).

Once more, a horizontal circular engraved symbol (**s**) is located at what has been considered as the centre of the sanctuary [23]. From that point, the eastern horizon is fairly attractive with several lines of sight which seem to be intimately related to important astronomical events (see Fig. 5 and 6). For example, we discovered that an observer located at **s** facing **H**, would have been able to appreciate, through window **v**, the rising of the morning Sun at the Equinoxes. Considering that the daily variation of declination of the Sun is fairly large when it crosses the celestial equator ($d\delta/dt$ of 23' *per* day), this phenomenon would have permited, under clear atmospheric conditions, to predict and/or to observe the Equinox with an error no larger than about one day. Moreover, in Figure 7 we show the star Fomalhaut ($\alpha$ PsA) crossing Roque Nublo on its ascending trajectory, when seen from any of the main platforms of the almogaren. The important fact is not the rise of Fomalhaut itself, but rather that this star currently has a declination of -29°.6, which is precisely the minimum possible declination of the Moon, as seen from Gran Canaria (-48' correction for parallax), but for an epoch close to 400 A.D. (the required -12' extra can be appointed to $\epsilon$ variability). It is worth noting that Roque Nublo is some 3100 m distant, with an apparent diameter of 35' when observed from Bentayga. Consequently, for a certain epoch, part of the disk of the post-summer-solstice full-Moon would have first risen slightly to the bottom left of the monolith; shortly thereafter it would have been completely obscured by the Roque, and it would have finally appeared, in its entirety, at the top right-hand corner. Thus, after each 19th year in the node precesion cycle, aproximately, this appealing phenomenon may have been observed by ancient Canarian "astronomers" (due to a lower value

of $\epsilon$, it is no longer visible today). This possibility is seemingly reinforced by the fact that, for the same epoch, the moonrise at minor southern lunastice would have been observable through window **w** over Las Nieves, as seen from the very centre of the enclosure **s**. At this point, we feel obliged to pose the question: have we enough evidence to justify the use of the almogaren as an astronomical observing precinct, at the epoch 400 A.D.? We have found that the answer could be in the affirmative, with a reasonable degree of confidence. Within the sight of the Bentayga there are two important archaeological settlements, the troglodyte village of Cuevas del Rey (only two kilometres away), and the fortified rock-carved granary of Acusa. The $^{14}C$ method yields dates of 290±60 A.D. for the former, and 435±45 A.D. and 575±60 for the latter [24], thus seemingly supporting our hypothesis. Not so obvious, however, is the possibility of the place being used as an eclipse predictor. Discussion of this point in connection to other sacred enclosures throughout the world are found in the literature [25], and an eclipse observation, registered by the ancient Canarians, has been suggested in a recent work [26].

On the other side, Teide Peak (in the neighbouring island of Tenerife) is seen conspicously from some sectors of Bentayga just behind the mountain of Altavista. In this sense, it is worth noting that the first New Moon after or simultaneous to the summer solstice (i.e. the corresponding to the full-moon we were discussing previously) would have been seen (and still is) setting behind this important peak throught the 19 year cycle. In fact, the average azimuth along that cycle is exactly the azimuth of the very summit (288°.5).

Additionally, other astronomical events –such as winter solstice sunrise and sunset, moonsets, normal and heliacal stellar risings and settings, etc...– have been investigated. However, none of these is strongly suggested by any other astroarchaeological evidence. This is not surprising since the hypothetical observing point, of all those possible throughout the fortress, might have been chosen as the only one from which it was possible to observe the Moon phenomenon behind Roque Nublo, a truly paradigmatic combination of an artificial backsight and a natural foresight, as those found in megalithic "observatories" in the British Isles. The windows –possibly rock-carved– were probably built later on in order to provide other astronomical observables such as the Equinox.

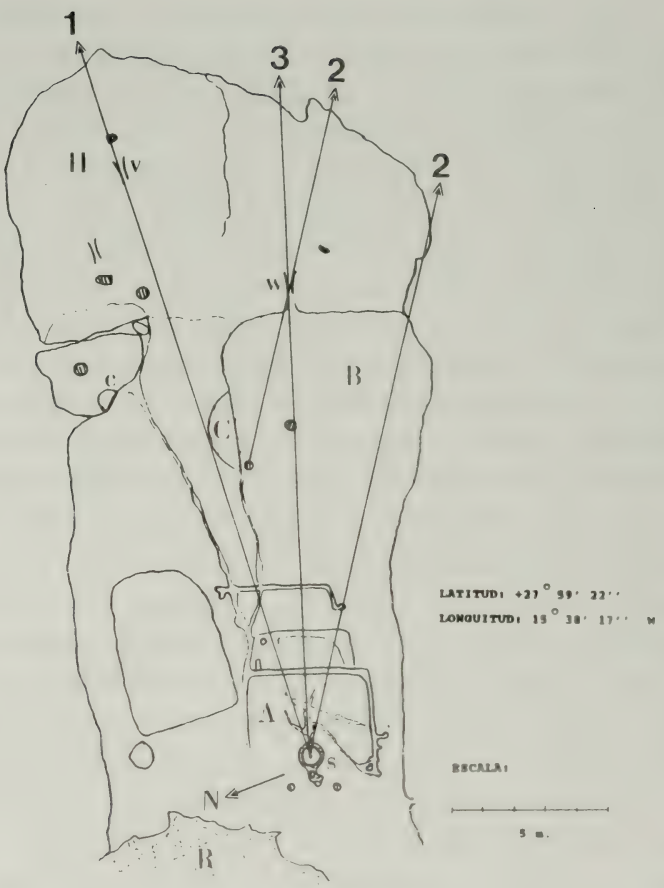


**Fig. 5.** Schematic plan of the central part of the almogaren located on the east slope of the impressive Roque Bentayga, in the very centre of the island of Gran Canaria. The almogaren basically consists of a major plane platform (**A**), carved on the rock-bed, with a circular glyph in its centre (**s**), a secondary platform (**B**), a couple of artificial caves (**C and c**), a possibly carved window (**w**), and a natural (?) rocky peak (**H**) with another window, perhaps artificial, (**v**) and a carved pole-host (**h**) behind it. Several, non-randomly distributed, ritual basins are found throughout the place. The sacred enclosure seemed to be designed for observing events occurring over the Eastern horizon. The very steep slope of the Roque itself (**R**) hides from view most of the West horizon, as seen from the almogaren. Directions **1**, **2** and **3** mark the principal astronomical alignments: equinox sunrise, moonrises at mayor and minor lunastices, respectively.

**Fig. 6.** The Eastern horizon as seen from the central platform **A** of the Bentayga almogaren. All the dominant features, with probable archaeoastronomical significance, are captured in the picture: the rocky peak **H** and window **v** to the left, platform **B** and window **w** with Las Nieves at the very centre and, finally, Roque Nublo to the right.

**Fig. 7.** Rising of Fomalhaut ($\alpha$PsA) behind the outstanding Roque Nublo, as seen from either the "astral" symbol (**s**), at platform **A**, or across window **w** and platform **B**. $\alpha$PsA presently has a declination of -29°.6. The trajectory followed in the photograph by the star mimics that followed by the full-moon, in its maximum southern excursion (major standstill with negative declination), for the years around 400 A.D. (see text for further discussion).

3.4. The Sanctuaries at Cuatro Puertas (Gran Canaria).

Cuatro Puertas is the name of an archaeological settlement –one of the richest in Canary Islands– located on and near the top of a 319 m high hill in the northeast of Gran Canaria. An impressive troglodyte artificial village, resembling those of Capadocia, lies on the southern slope of the hill. Figure 8 shows the frontage of an artificial sanctuary cave [27], with four sculpted entrances (the reason for the name Cuatro Puertas, Spanish for "four doors") located on the opposite slope, facing true north over an artificial terrace crossed by numerous smallpans and basins. The inside of this sanctuary is carved in the volcanic toba, producing an almost rectangular dwelling with no significant features but a secondary cave (a granary?) in the SW corner and a bench (an altar?) in the SE one. Finally, another almogarén is found on the mountain top. As in Bentayga, this is also deeply sculpted on the volcanic ground and comprises several ritual basins, smallpans and channels carved on the floor, the largest one (3 m diametre) having the shape of a very sharp lunar crescent. The precinct is closed on three sides (west, north and east) by carved walls in which some artificial windows, knocks and petroglyphs have been sculpted. Figure 9 shows the most conspicuous of those petroglyphs which has been identified with a set of lunar crescents, amongst other interpretations. The largest artificial window lies in the opposite direction, opening to the east, so that the flat sea horizon can be seen from the petroglyph through that window.

It is not an easy task to explain the presence, within a single settlement, of so many different and strange components and this has been puzzling archaeologists since the settlement was firstly described a century ago, without finding a unique satisfactory response [28]. However, we have discovered that several of the intriguing components of both the almogaren and the sanctuary cave would have a sensible reason to exist and an apparent use within an archaeoastronomical context. With this explanation in mind, the most significant phenomenology is related to the summer solstice, when three different redundant hierophanies take place, a couple at sunrise and one at sunset. On the one hand, a very beautiful phenomenon occurs in the almogaren at summer solstice sunrise (see Fig.9), whilst, simultaneously, a spectacular hierophany is observable from the inside of the sanctuary cave. An early observer would see a very thin (a few arcminutes) knife of light penetrating the cave through the second entrance and illuminating the back wall for a few minutes, the solstice being the only time of the year when sunlight reaches the interior of the cave at sunrise. On the other hand, Figure 10 shows the phenomenon produced at the interior of the sanctuary cave but at sunset instead of sunrise.

Considering the orientation, shape and size of the entrances, these might

have been designed with an astronomical scope in mind, i.e. that the solar light went into the sanctuary only at the time of the summer solstice. This would be the single reasonable explanation offered so far for the northern orientation and the peculiar distribution of this charismatic monument. Several other astronomical possibilities (equinoxes, winter solstice, lunar standstills, etc) were also investigated. Although there are scarce evidences of a relation with the equinox (both the almogarén and the sanctuary frontage, including the terrace, are east-west oriented), these are largely darkened by the solstitial phenomena.

If in the previous sections of this paper we tried to justify the location of the sanctuaries at Yeje, La Abejera and Bentayga on the basis of their possible nature as backsights of conspicuous astronomical phenomena taking place in distant and natural foresights, this is no longer the case in Cuatro Puertas. The archaeoastronomical elements described in Cuatro Puertas are special since they are all artificial, i.e. all the components involved in the solstitial hierophanies are man made . Consequently, astronomy need not be claimed as the final scope in the selection of the site, which instead may have been chosen for more prosaic motives (e.g. defense, hours of sunshine in the main village, etc).

**Fig. 8.** The Northern slope sanctuary cave at Cuatro Puertas (the one naming the complex). The almogaren lies at the top of the hill and its verge can be seen in the top-left corner of the image.

**Fig. 9.** Summer solstice sunrise hierophany at the almogaren of Cuatro Puertas. Two artificial elements, a window and a knock, engraved in the NE wall of the precinct, produce a very distinct shadow on an engraving in the western wall. The successive images show the evolution of the phenomenon from sunrise till some 15 minutes later when the knock shadow path abandons the northern border of the engraving. Simultaneously, another hierophany is produced at the sanctuary cave (see text for further explanation).

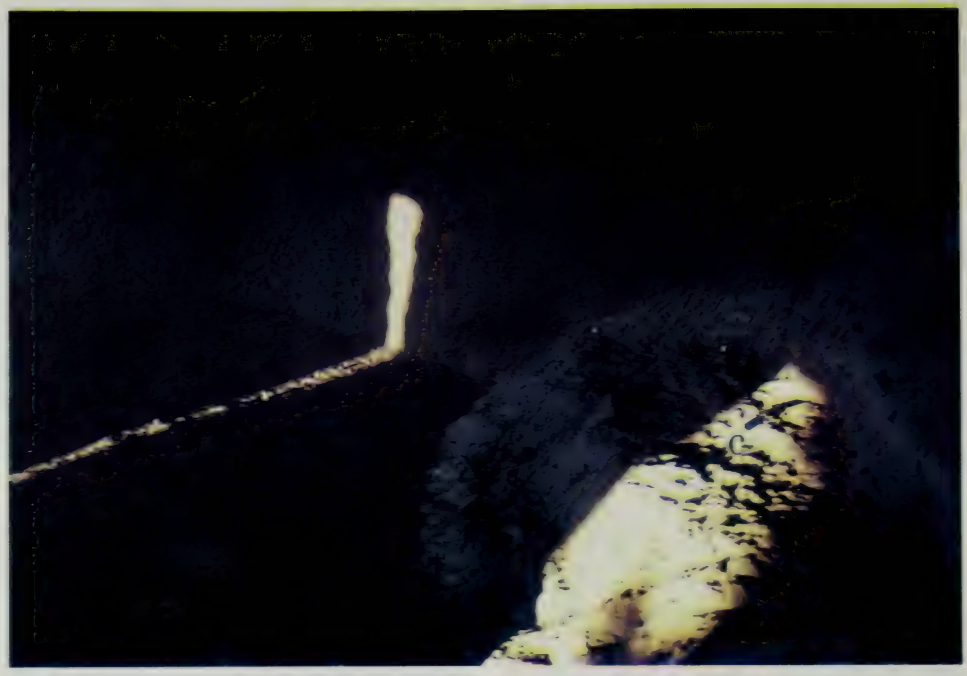


**Fig. 10.** Summer solstice sunset hierophany at the northern sanctuary cave of Cuatro Puertas. Two narrow paths of light penetrate the cave, through two of the entrances (third and fourth from the east), only a few days before and after summer solstice. On the day of the solstice, one of the paths, shaped like an arrow, hits an sculpted bench (an altar?) in the SE corner of the sanctuary in such a way that the last solar rays paradigmatically lighten a smallpan (C) engraved over the altar.

## 4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS.

One of the primeval objectives of this study had been to establish which calendar, if any, was in use in the islands of Tenerife and Gran Canaria, during pre-hispanic times.

In Tenerife, the chroniclers indicate the celebration of the harvest festivals during August [29,30]. That period was termed (Begnesmet) having suggested a meaning of "second lunation" (see sect. 2). This would imply that the first month of the year might have been around July, and probably that, in fact, the new year would have been marked by the new-moon which follows the summer solstice, as in several other cultures on the Mediterranean. From the archaeoastronomical evidence avaliable, it is quite clear that the importance of the summer solstice was ubiquitous in Tenerife (not only in pre-hispanic times, but also after the conquest [31,32]) and, on the other hand, at Yeje, we have a marginal indication of a possible Begnesmet (August) full-moon hierophany behind the Peak of Teide.

The importance of June 24th, which is currently celebrated (still exists the pleasant ancient custom of bathing the goats in the sea on that dates), and of August 15th (feast of Candelaria, the patroness Virgin of the island) reinforce the arguments in favour of the summer solstice and the second subsequent new- or full-moon, as the major reference points of the guanche calendar. The system would probably have been somewhat loose, i.e. alternating years of 12 and 13 lunar months in a random fashion, since no evidence of an arbitrary extra month, or a cyclic system, have been found either in the ethnographic, or in the archaeological records.

With respect to Gran Canaria, we have chronicler Sedeño's information about the vernal Equinox and the fourth moon festivals at the end of June [33] and, if historian Tomás Marín de Cubas' [34] unique reference to summer solstice (he does not refer to the equinox) is taken as a attempt to express in concrete terms previous confusing information, the agreement between the chroniclers and the archaeoastronomical evidences might be considered adequate. Both agree on the importance of the (vernal) Equinox as a significant fixed point for the Canarian system of time keeping, probably serving either as the new year eve itself or as the zero point for counting the months, starting with the next new-moon. Consequently, the fourth lunar month, starting at the end of June or the beginning of July, and perfectly anticipated by the summer solstice, would have marked the harvest festivals.

At Roque Bentayga, the post summer solstice New Moon would have been seen setting behind Teide Peak whilst, at the same time, the southern minor and major rising lunastices seem to be marked at the eastern horizon. These would

have always encompassed the point of rising of the subsequent full-moon (i.e that following the summer solstice), belonging to the 4th lunar month, thus supporting the importance of that epoch, paradigmatically marked by the reiterative solstice hierophanies visible at Cuatro Puertas and other solstitial phenomena produced at other sites of the island [35]. Consequently, the vernal Equinox, the summer solstice and the fourth new- and/or full-moon would have acted as the reference points of the ancient Canarian time keeping system. This calendar would have been also luni-solar, as in Tenerife. However, in this case, the Roque Nublo lunar phenomenon strongly suggests some kind of knowledge of the 19 year luni-solar conjunction cycle. Whether this knowledge was, in fact, used to produce a more sophisticated calendar cycle, similar to the Methonic, for example, instead of a looser year system, is difficult to infer from the evidences available now.

To conclude, it is worth noting that, in the case of the Roque Bentayga, we have, for the first time in the Canary Islands, a possibly independent archaeoastronomical confirmation of the epoch when a certain aboriginal ceremonial centre was built and/or in use. The lunar phenomenon would have started to be seen, from the almogaren, well before the beginning of the Christian era; it would have had its maximum complete lunar ocultation at the beginning of the Vth century A.D., and would have been observable for the last time shortly after the year 600 A.D. These dates agree perfectly with the extreme values, yielded by Carbon 14, for the occupation of neighbouring settlements, i.e. the interval between 230 and 640 A.D. At the time of the castillian conquest, 8 centuries later, Bentayga was used mainly as a fortress, as stressed in the chronicles, whilst its possible time keeping (i.e. astronomical) utility had apparently been forgotten.

*Acknowledgements:* This work would have not been possible without the enthusiastic cooperation offered by many people at Tenerife and Gran Canaria. Thanks are due to Fernando Pérez Hernández, Luis Cuesta, Chiqui Fuentes and, especially, to Carmen Pinza and Marga Sanz de Lara, for their support and assistance during the field work. Comments from Prof. Michael Hoskin, Prof. Teodoro Roca Cortés, Prof. John Beckman, Prof. Anthony Aveni and Dra. Clara Régulo have greatly enriched the work and the paper. This work has been partially supported by the Instituto de Astrofísica de Canarias under the project P7/93 Arqueoastronomía.

## REFERENCES


1.- Morales F. *La crónica de Sedeño* in *Canarias: crónicas de su conquista.* Cabildo de Gran canaria. 1993.

2.- Espinosa F.A. *Historia de Nuestra Señora de Cadelaria.* Goya Ediciones, 1980.

3.- Abreu Galindo F.J. *Historia de la conquista de las siete Islas de Canaria.* Goya Ediciones. 1977.

4.- Torriani L. *Descripción de las Islas Canarias.* Goya Ediciones. 1980.

5.- Marín de Cubas T.A. *Historia de las siete Islas de Canaria*, page 274. Real Sociedad de Amigos del pais, Las Palmas de Gran Canaria. 1986.

6.- Tejera Gaspar A. *Mitología de las culturas prehistóricas de las Islas Canarias.* Lección Inaugural del Curso 1991-92, Universidad de La Laguna, 1991.

7.- Serra E. *Los mallorquines en Canarias.* Revista de Historia VII, 281. 1940.

8.- Jiménez J.J. *Elementos astrales de la arqueología prehistórica de las Islas Canarias.* In "Investigaciones Arqueológicas canarias II", page 93. Viceconsejería de Cultura y Deportes. 1990.

9.- Espinosa F.A. *Op. it. Ab.*, page 35, 1980.

10.- Torriani L. *Op. Cit. Ab.*, page 179, 1980.

11.- Alvarez Delgado J. *Ensayo de Filología Tinerfeña.* Teide press, La Laguna. 1945. Discussion in: Tejera Gaspar A. *La religión de los guanches: ritos, mitos y leyendas.* 2nd Ed, page 70. Edicolor, S/C Tenerife. 1992.

12.- Marín de Cubas T.A. *Op. Cit. Ab.*, page 274, 1986.

13.- Perera Betancort M.A., Belmonte J.A., Tejera Gaspar A., Esteban C., *Tindaya: un acercamiento arqueoastronómico a la sociedad prehispánica de Fuerteventura.* Tabona IX, 1995. En prensa.

14.- Jiménez J.J. *Op. Cit. Ab*, 1990.

15.- Abreu Galindo F.J. *Historia ...*, page 157. Goya Ediciones. 1977.

16.- Torriani L. *Descripción ...*, page 96. Goya Ediciones. 1980.

17.- Aparicio A., Belmonte J.A., Esteban C. *El Cielo a simple vista.* In *Arqueoastronomía Hispana*, page 19, Grupo Sirius, 1994.

18.- Tejera Gaspar A. *Op. cit. ab.*, page 14.

19.- Tejera Gaspar A. *Op. cit. ab.*, page 15.

20.- Tejera Gaspar A. *Op. cit. ab.*, page 15.

21.- Tejera Gaspar A. *Op. cit. ab.*, page 24.

22.- Balbín R., Tejera Gaspar A. *Arte rupestre en Tenerife.* In "XIX Congreso Nacional de Arqueología: Ponencias y comunicaciones". Vol 2, page 301. 1990.

23.- Jiménez J.J. *Op. Cit. Ab*, 1990.

24.- González Antón R. y Tejera Gaspar A. *Los aborígenes canarios: Gran Canaria y Tenerife*, page 332. Editorial Istmo. 1990.

25.- Heggie D.C. *Megalithic Astronomy.* Thames and Hudson. 1981.

26.- Jiménez J.J. *Nuevas pruebas de elementos astrales en la arqueología prehistórica de Canarias.* In "Tiempo y Astronomía en el Encuentro de Dos Mundos". Wiercinski A. (ed). 1994.

27.- del Arco Aguilar M.C., Jiménez Gómez M., Navarro Mederos J.F. *La arqueología en Canarias: del mito a la ciencia*, page 47. Ediciones Canarias. 1993.

28.- del Arco Aguilar M.C., Jiménez Gómez M., Navarro Mederos J.F. *Op. cit. ab.*, page 74.

29.- Abreu Galindo F.J. *Op. cit. ab.*, page 297.

30.- Torriani L. *Op. cit. ab.*, page 179.

31.- Belmonte J.A., Aparicio A., Esteban C., *A Solsticial Marker in Tenerife: the Majanos of Chacona.* Archaeoastronomy Sup. J.H.A. **18**, S65, 1993.

32.- Esteban C., Belmonte J.A., Aparicio A. *A Solsticial Marker in Tenerife: Addendum.* Archaeoastronomy Sup. J.H.A. **19**, S84, 1994.

33.- Morales F. *Op. Cit. Ab.*, page 378.

34.- Marín de Cubas T.A. *Op. Cit. Ab.*, page 274.

35.- Aveni A.F., Cuenca J. *Archaeoastronomical fieldwork at the Canary islands.* Museo Canario 49, page 29, 1994.

Rev.Acad.Canar.Cienc., VI (Núms. 2,3 y 4), 157-189 (1994)

# ENIGMAS DE LA EVOLUCION HUMANA(*)

Julio Pérez Silva
Departamento de Microbiología, Facultad de Biología, Universidad de Sevilla
Avda. de la Reina Mercedes, s/n. 41012 SEVILLA.

## 1. INTRODUCCION

Hace tiempo que tengo la curiosidad de palpar las diferencias epistemológicas entre las ciencias experimentales y las ciencias históricas. Esto, para mi, como investigador dedicado a las primeras y que, por tanto, sigo su metodología específica, supone cuando menos la aventura de tratar de razonar y opinar sin posibilidad de recurrir a la comprobación experimental, tal como hacen los investigadores de la Historia (tanto de la Tierra, como de los seres vivos que la habitan, incluido el hombre) cuando describen e interpretan eventos pretéritos, valiéndose de métodos de inferencia. Deben reconstruir el camino que lleva desde lo primitivo (sean palabras, fósiles o rasgos fisiográficos) hasta lo contemporáneo. De ahí la enorme dificultad de estas ciencias y, por ende, la gran admiración que siempre he sentido por los geólogos, paleontólogos, paleantropólogos e historiadores, que buscan la verdad (¡Y LA ENCUENTRAN!) sin apoyarse en la experimentación, sino mediante la interpretación correcta de hechos pasados, irreversibles e irrepetibles.

Por ello, y confesando mi condición de intruso, debo comenzar rogando a estos admirados investigadores que disculpen mi atrevimiento de contemplar la naturaleza desde un balcón en el que nunca me había asomado, con la pretensión de hacer algunas reflexiones en torno a la evolución del hombre, para lo que cuento únicamente con algunos conocimientos acerca de la evolución biológica. Este bagaje no es suficiente, ya que, como dice PILBEAM [34], en los últimos treinta años este estudio se ha convertido en un vasto campo multidisciplinar al que

(*) En la presente publicación el autor desarrolla el contenido de la conferencia que con el mismo título pronunció el 1 de febrero de 1993 en la Sesión Inaugural del curso 1992/93, de la Academia Canaria de Ciencias.

que están haciendo valiosas contribuciones no sólo antropólogos y paleontólogos, sino también geólogos, biólogos, ecólogos, biólogos moleculares, zoólogos, etólogos, sociobiólogos, sociólogos, neurofisiólogos, lingüistas, químicos y físicos. La consecuencia lógica es la extraordinaria diversidad de publicaciones que han aparecido sobre este tema y cuya revisión crítica detallada estaría muy lejos de mi alcance; por tanto, me limitaré únicamente a cotejar datos y opiniones, procurando razonar desde la lógica ingenua del científico positivista, esto es, tratando de llegar lo más lejos posible en la búsqueda de la verdad sin invocar nunca causas o factores extranaturales, aunque sin descartarlos *a priori*.

Para comenzar trazaremos a grandes rasgos el origen de nuestra especie, simplificando al máximo (Fig. 1) el proceso que ha durado unos 12.000 millones de años y mediante el cual se ha pasado desde la **nada** hasta el **hombre**, que apareció en la Tierra hace unos 200.000 años, como resultado de una lenta progresión evolutiva. Como se indica en dicha figura, primero se pasó desde un estado ignoto, en que no había **nada,** a otro en el que ya había **algo** (una unidad de densidad infinita y de volumen infinitesimal), y luego, a partir de este algo se originó el **Universo**, incluido nuestro planeta, en el que, hace unos 4.000 millones de años, apareció la **vida** en su forma más simple, **la unidad fundamental de vida**; con ella comenzó la **evolución biológica**, mediante la cual han ido surgiendo seres viviente cada vez más complejos y diversos, cuyo conjunto constituye la capa viva, o **biosfera**, del planeta. Una de las múltiples radiaciones de esta evolución biológica culmina con la aparición del hombre, cuya

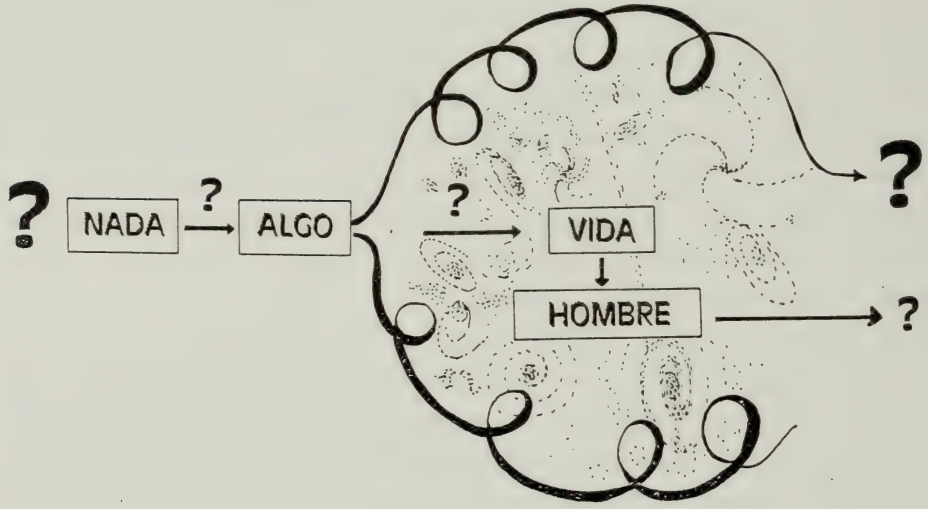


**Figura 1.** *Representación esquemática del proceso global del origen del Universo y del hombre.* **(Explicación y comentarios, en el texto).**

población global actual (la **Humanidad**) es de 5.500 millones de individuos extendidos por toda la superficie de la Tierra y que, aunque cuantitativamente representa una fracción muy pequeña de la biosfera, cualitativamente es de importancia decisiva, ya que la evolución ha dotado al hombre de una serie de peculiaridades que lo han convertido en la especie dominante del planeta.

En este largo camino que conduce desde la nada hasta el hombre se han producido hechos que no por innegables dejan de rayar en lo inconcebible, y que en principio hemos de considerar como fenómenos naturales a los que no se les ha dado todavía una explicación satisfactoria. Me refiero a las siguientes cuestiones, que siguen siendo verdaderos enigmas:

1. ¿Cuándo y cómo se originó el Universo a partir de **nada**?
2. ¿Cuándo y cómo apareció la **vida** en nuestro planeta?
3. ¿Cuándo y cómo surgió la **mente humana**?
4. ¿Cuándo y cómo surgió el **lenguaje simbólico**?
5. ¿Cuándo y cómo surgió la **agresividad intraespecífica cruenta**?

A estas interrogantes se podría añadir otras, que no implican la interpretación del pasado, sino la predicción del **futuro de la Humanidad**, **de nuestro Planeta y del Universo**.

Debo adelantar que no trataré aquí las dos primeras cuestiones enunciadas, sobre las que el lector podrá encontrar información en las publicaciones de BERGH y HESSER [4], ERICKSON [12], DELBRÜCK [8], FREEDMAN [14], ORGEL [32] Y ORO [33]. Sólo diré que actualmente se admite la teoría del *big-bang* y que la Tierra se consolidó hace unos 4.500 millones de años. Ahora bien, más difícil de concebir y, por tanto, de aceptar para una mente lógica es esa unidad de densidad infinita y de volumen infinitesimal que mediante el gran estallido originó el Universo. Aceptando esto, todo lo demás es concebible para un biólogo. Así, es admisible que después de la consolidación de nuestro planeta y tras unos 700 millones de años de evolución prebiótica, comenzaron a aparecer las primeras formas vivientes con información genética propia y capaces de crecer y multiplicarse. Ello sucedió hace unos 4.000 millones de años, y al mismo tiempo comenzó la evolución biológica, por la cual a partir de estos organismos sencillos se han ido originando sucesivamente otros cada vez más complejos, pero no siguiendo una única línea evolutiva, sino mediante múltiples radiaciones y ramificaciones que han dado por resultado el árbol filogenético de las especies biológicas. Centraremos, pues, la atención en los enigmas relativos a la mente, el lenguaje y la agresividad de nuestra especie, pero antes debemos hacer algunas consideraciones acerca de las causas de la evolución biológica y de los factores que han condicionado el éxito de algunas de las radiaciones, destacando la importancia de la preadaptación aleatoria y de los cambios opcionales de conducta, que, a mi juicio, han tenido una influencia decisiva en la evolución de los Homínidos.

## 2. CONSIDERACIONES PREVIAS

La evolución biológica consiste en una continua sucesión de especiaciones, esto es, de aparición de nuevas especies derivadas de las preexistentes, a las que sustituyen porque están mejor **adaptadas**(*) a las cambiantes condiciones ambientales. En consecuencia, las diversas especies de seres vivos que integran la biosfera actual son descendientes de otras, ya extinguidas, que vivieron en épocas geológicas pretéritas y que, por tanto, no se conocen directamente, sino a través de sus restos fósiles. Se admite, por tanto, que todas las especies, extinguidas y vivientes, han surgido a partir de la **unidad fundamental de vida** que apareció durante el Precámbrico y que mediante el largo proceso de la evolución biológica ha dado origen a los cinco Reinos vivientes propuestos por MARGULIS y SCHWARTZ [29]: **bacterias**, **protistas**, **hongos**, **vegetales** y **animales**. Como señala LEVINTON [23], los animales experimentaron durante el Cámbrico (hace unos 600 millones de años) una "gran expansión horizontal" y a partir de entonces se han originado diversas radiaciones, una de las cuales es la de los Mamíferos, que, al igual que las aves, derivan de los reptiles y que iniciaron su gran expansión después del Cretácico, como consecuencia de la extinción de los dinosaurios (hace unos 65 millones de años). Los Mamíferos se diversificaron a su vez (Fig. 2), dando origen, entre otras muchas, a la radiación de los Primates, en cuya cúspide está *Homo sapiens*.

A la par que se encontraban pruebas cada vez más consistentes de la evolución biológica, se fue centrando el interés en averiguar las causas del proceso de adaptación. Surgen así las teorías de Lamarck (basada en los principios de "uso y desuso de los órganos" y de la "heredabilidad de los caracteres adquiridos") y de Darwin (basada en la "variabilidad hereditaria", la "lucha por la existencia" y en la "selección natural".

La teoría de Darwin, aun siendo aceptable en líneas generales, no explicaba las causas de la variabilidad ni el mecanismo de la trasmisión hereditaria, lo cual estaba fuera del alcance de ciencia de hace un siglo. Pero, con el desarrollo de la genética surge el llamado **neodarwinismo**, teoría que integra los conocimientos derivados de la investigación a los niveles macroscópico, microscópico, molecular y poblacional, y explica la especiación como resultado de la mutación, selección, deriva genética, y aislamiento reproductivo. (El lector podrá encontrar más información sobre las teorías evolucionistas en las obras de JAHN, LOTHER y SENGLAUB [19] y de TEMPLADO [40].

La evolución biológica es un proceso de extraordinaria lentitud, que, como dice MONOD [30], depende de un interjuego del azar y la necesidad: de un lado están las mutaciones, que son

---

(*) YOUNG [44] define la **adaptación** como un proceso de cambio para adecuarse a una determinada **condición existente en el medio**; lleva una connotación de futuro, pero siempre que continúe existiendo la citada condición particular.

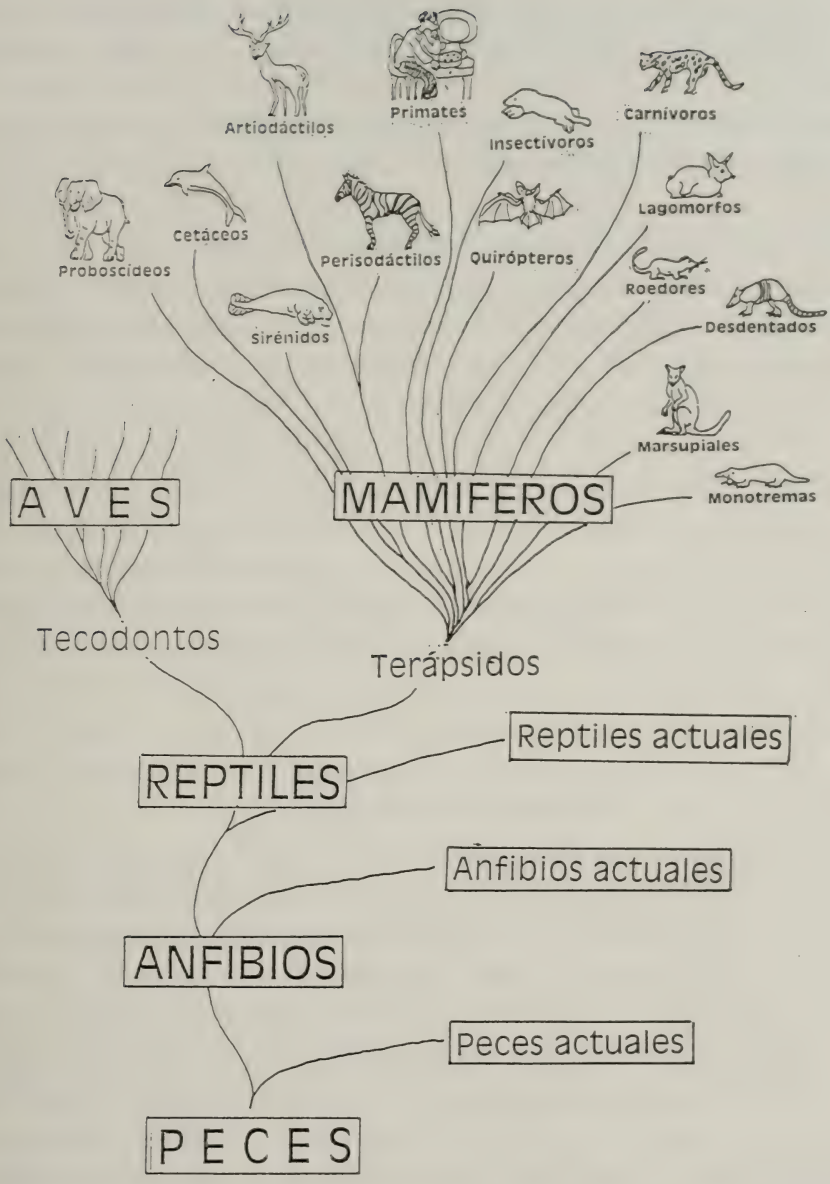


**Figura 2.** *Diversificación evolutiva de los Mamíferos.*

eventos sumamente raros y totalmente aleatorios; pero de otro lado, los nuevos alelos han de salvar necesariamente los escollos que impone la operatividad celular, hasta que se puedan expresar en forma de nuevos caracteres fenotípicos, los cuales podrán ser desventajosos, neutros o ventajosos, y sólo estos últimos son los que conducen a un avance evolutivo ante la presión selectiva de las condiciones ambientales. Ello, juntamente con el aislamiento

geográfico puede dar lugar primero a una evolución intraespecífica que conduce a la aparición de variedades o razas, y luego, si el aislamiento es reproductivo se pueden originar nuevas especies.

Ahora bien, conviene destacar el hecho de que entre las distintas radiaciones evolutivas hay notables diferencias en cuanto a su "ritmo" y, sobre todo, en cuanto a su "éxito"; parece como si unas fuesen más acertadas que otras, pues hay unas que prosperan y se diversifican superando los sucesivos cambios ambientales, mientras que otras terminan en una vía muerta, como si hubiese tomado una dirección equivocada. Si con esta idea consideramos la radiación de los Primates, encontramos que en la rama de los homínidos ha habido una sucesión de "aciertos" que propiciaron el "despegue" de éstos con respecto a los póngidos y finalmente la aparición del hombre con sus singularidades. Estos aciertos fueron tan "oportunos" que la evolución humana, en algunos de sus aspectos, sugiere la existencia de una direccionalidad preconcebida, como si su proceso evolutivo obedeciese a un plan general preestablecido. Aunque no existe ninguna base científica para descartar, ni tampoco para admitir, la existencia de un plan previo no sujeto al azar, los estudiosos de la evolución tratan de explicar el "salto de los homínidos" introduciendo conceptos, como, por ejemplo, teleonomía y preadaptación, que entrañan una concatenación aleatoria de eventos naturales que actúan como "factores condicionantes" del éxito de una determinada radiación evolutiva.

Comentaremos brevemente los factores condicionantes que se invocan con mayor frecuencia y que podríamos agrupar en tres categorías: "preadaptaciones aleatorias", "fenómenos cruciales" y "cambios opcionales de conducta".

La **preadaptación**, a diferencia de la **adaptación**, se refiere a la aparición **anticipada** de ciertos caracteres o estados biológicos que resultarán de importancia vital ante eventuales condiciones aún no existentes. En otras palabras, el concepto de preadaptación implica un cambio anatómico o fisiológico, de escasa o nula utilidad en el momento de su aparición, pero que posibilita el desarrollo de rasgos de gran valor adaptativo ante futuros cambios ambientales. Para explicar el mecanismo de la preadaptación podríamos partir del hecho ya mencionado de que las mutaciones pueden ser favorables, desfavorables o neutras, según la idoneidad de su expresión fenotípica en lo que respecta su adaptación a las condiciones ambientales reinantes; en consecuencia, los alelos favorables prosperarán en la población, los desfavorables tenderán a desaparecer, mientras que la frecuencia de los alelos neutros no varía, a no ser que estén ligados a genes favorables o desfavorables, y en tal caso correrán la suerte de éstos. Cabe suponer, pues, que en el acervo génetico de una determinada especie se hayan ido acumulando a lo largo de su historia evolutiva un caudal de mutaciones neutras que pueden resultar favorables en futuras condiciones. Cada especie tendría lo que podríamos denominar el "baúl de los alelos neutros", al que acudiría ante eventuales cambios del medio

ambiente, y cuánto más rico y variado sea este acervo, tanto mejor será su preadaptación.

Dentro del concepto de fenómenos cruciales podemos incluir todos aquellos cambios ambientales profundos y generalizados que influyen decisivamente en el ritmo y dirección del proceso evolutivo. A esta categoría de fenómenos pertenecen, por ejemplo, las extinciones masivas, los cambios climáticos profundos (glaciaciones e interglaciaciones), las epidemias, la deriva de los continentes, etc.

Como hemos dicho, la evolución es un proceso de suma lentitud, en el que una especiación suele durar de dos a tres millones de años; sin embargo, en algunas líneas evolutivas, como ha ocurrido en la de los homínidos, la tasa de especiación es mucho más elevada, hasta el punto de que una especiación tarda por término medio ciento cincuenta mil años. Se admite que la "rapidez" del proceso evolutivo es debida a que en momentos cruciales de la evolución, una determinada especie adopta una nueva conducta entre varias posibles, y este cambio opcional de conducta puede condicionar para siempre el curso del proceso, ya que la presión selectiva forzará el perfeccionamiento progresivo de las estructuras orgánicas que sirven de soporte a la nueva conducta elegida.

En los apartados siguientes tendremos ocasión de comentar la influencia de la preadaptación y de los cambios opcionales de conducta en el caso concreto de la evolución de la especie humana.

## 3. LA EVOLUCION HUMANA

Hasta bien entrado el siglo XVIII nadie ponía en duda la creencia general de que el hombre era un ser privilegiado en la Naturaleza, netamente separado de los animales. Fue Linneo el primero que, en su afán ingenuo de hacer una clasificación natural de los seres vivos, reconoció que el hombre, desde el punto de vista anatómico, es un miembro más de un grupo de mamíferos al que dio el nombre de Primates en reconocimiento de que ocupan el puesto primero o más elevado en su sistema de clasificación. Lo incluyó en el género *Homo* y en la especie *sapiens*, aludiendo a su inteligencia.

Desde entonces la idea de Linneo ha prosperado hasta el punto de que hoy día ningún biólogo duda de que el hombre es un producto de la evolución biológica; y por tanto, una especie más de la biosfera, que ha surgido a partir de antecesores que se han extinguido. Ahora bien, en el caso de la evolución humana hemos de considerar dos aspectos. De una parte, el examen de la anatomía y fisiología humanas indica que apenas existen diferencias con los demás mamíferos; no cabe duda, pues, de que el hombre se ha originado a partir de especies no humanas mediante un proceso evolutivo impulsado por las mismas fuerzas

(mutación, presión selectiva y aislamiento reproductivo) que han dirigido la evolución de los demás organismos desde que apareció la vida en la Tierra. Pero, de otra parte, el hombre, a diferencia de los demás seres de la biosfera, ha experimentado también una evolución cultural, no impulsada por mecanismos genéticos, sino que entraña un constante reciclaje y potenciación de la experiencia del pasado por un proceso de autocatálisis o realimentación que ha conferido a la especie humana características únicas, como son la capacidad de pensamiento conceptual y el lenguaje simbólico, que le permiten expresar conceptos y sentimientos derivados de la observación y de la reflexión, así como una constante superación de su ejecutoria, mediante la invención de utensilios e ingenios cada vez más específicos y sofisticados, con los que, a su vez, pueden influir decisivamente en su propio proceso evolutivo. Consideremos brevemente ambas facetas de la evolución humana.

Por su **evolución orgánica**, el hombre actual es la culminación de una de las ramas de la radiación evolutiva de los Primates (Fig. 3), que se inició hace unos setenta millones de años (al final del Cretácico o en los comienzos del Paleoceno) y de la que surgieron los **Prosimios**, los **Simios** y los **Antropoides**. Los Prosimios están representados en la actualidad por los lémures, los társeros, los tupayas, etc. Los simios comprenden los Cercopitécidos o monos del Viejo Mundo (representados por el macaco, el mandril, el babuino, etc.) y los Ceboideos o monos del Nuevo Mundo, representados por el mono araña, el mono aullador, el titi, etc. Los Antropoides, u Hominoideos, agrupan a los Póngidos (cuyos representantes actuales son el chimpancé, el gorila, el gibón y el orangután) y a los Homínidos, cuya única especie viviente es *Homo sapiens*.

Aún no se ha establecido con seguridad cuándo se originó la radiación evolutiva de los Homímidos a partir del tronco común de los antropoides, aunque se admite que este tronco se inició a partir del género *Proconsul* (también llamado *Dryopithecus*), que vivió en el Mioceno inferior, hace unos veinte millones de años. En esta línea se sitúa también el *Ramapithecus*, ampliamente extendido por el Viejo Mundo durante el Mioceno y que se considera como antepasado común de los póngidos y de los homínidos; su antigüedad se estima en algo más de los siete millones de años. La línea evolutiva de los homínidos lleva consigo un progresivo cambio morfológico que consiste la adquisición de la postura erguida y en un considerable aumento del volumen del encéfalo. Por ello, la mayoría de los autores coinciden en que los primeros seres inconfundiblemente prehumanos son los diversos fósiles adscritos al género *Australopithecus*, en los que se reunían ambas características. El ejemplar más antiguo, al que se le dio el sobrenombre de "Lucy", es un esqueleto casi completo, de unos cuatro millones de años de antigüedad, hallado en 1974 cerca de Hadra, Etiopía. Se le denominó *A. afarensis*, y la opinión más generalizada es que esta especie de australopiteco dio origen a dos líneas evolutivas: una que se habría de extinguir hace aproximadamente un millón de años y que dio

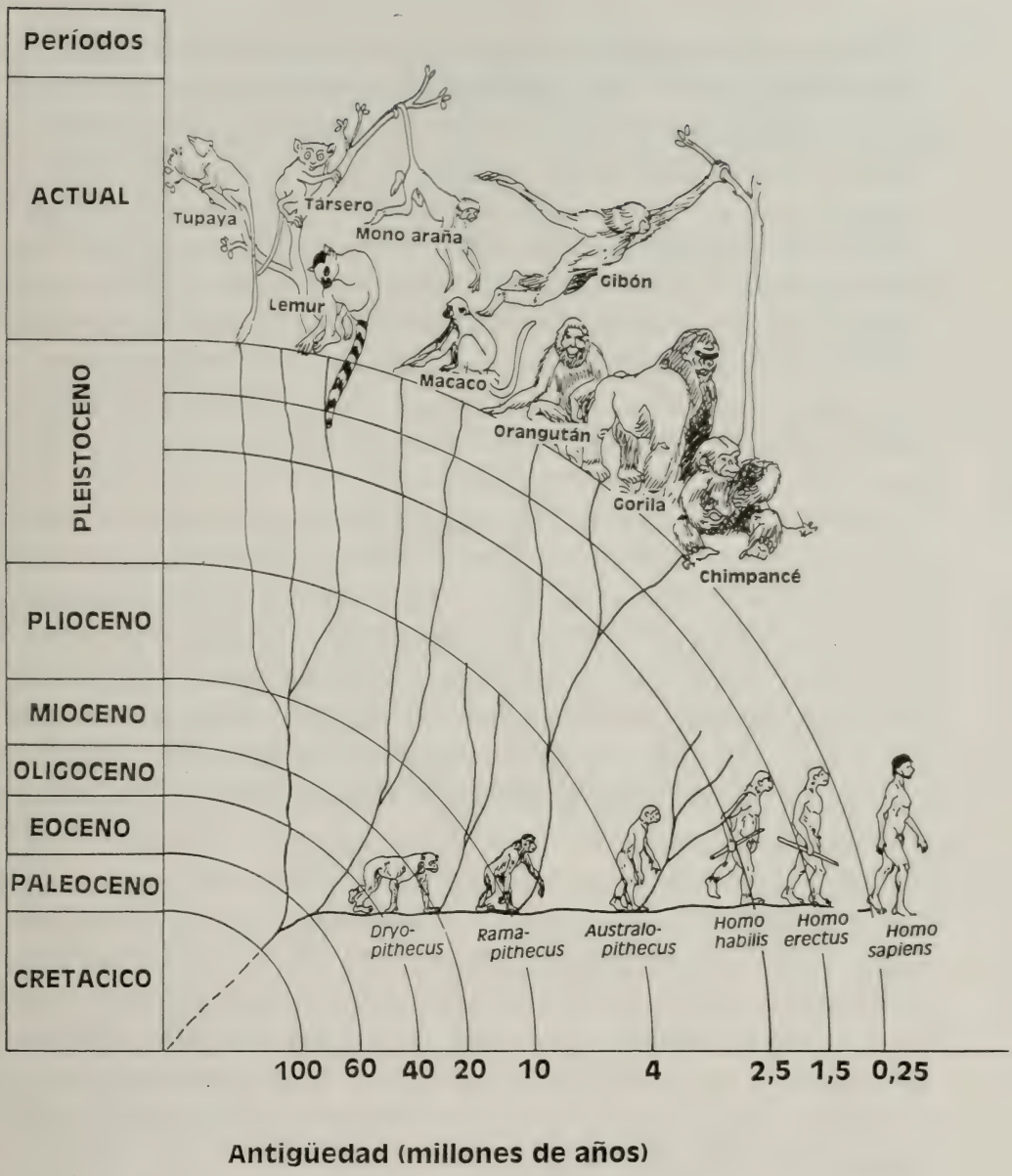


**Figura 3.** *Radiación evolutiva de los Primates.*

origen a *A. africanus*, *A. robustus* y *A. boisei*, y la otra que se ha continuado hasta la actualidad y que es en la que se produjo la transición desde los australopitecos hasta el hombre moderno (*Homo sapiens*), a través de *Homo habilis* y *Homo erectus*. Esta progresión cursó con inusitada "rapidez", pues en poco más de cuatro millones de años los Homínidos destacaron del resto de los Antropoides, los cuales siguieron evolucionando lentamente hasta culminar en los monos antropomorfos actuales (gorila, gibón, chimpancé, orangután).

¿A que se debe la rapidez de la evolución humana? No cabe duda de que su mecanismo es el mismo que subyace en la de los demás seres de la biosfera: mutación presión selectiva y aislamiento reproductivo; pero, como ya hemos señalado, en muchos casos la dirección y el ritmo de la evolución pueden quedar condicionados por un cambio opcional de conducta adoptado por una especie en un determinado momento. Trataremos, pues, de relacionar las principales opciones conductuales de los precursores del hombre, con el desarrollo de las dos características propias de los homínidos: el bipedismo y el incremento del volumen del encéfalo. Es curioso que esta última característica ha sido consecuencia de dos cambios conductuales opuestos: **la adopción de la vida arborícola** por los Primates inferiores, hace unos ochenta millones de años (al final del Cretácico), y el **abandono de la vida arbórea y salida a la pradera** por los australopitécidos, hace unos cuatro millones de años, a finales del Mioceno.

En efecto, la vida arbórea, así como el subsiguiente cambio de los hábitos nocturnos hacia los diurnos, adoptado por los simios y los antropoides, favorecieron toda una serie logros etológicos y morfofisiológicos que entrañan un notable desarrollo de la corteza cerebral, y que pueden ser considerados como verdaderas preadaptaciones para la ulterior evolución de la línea de los homínidos. Entre estos logros están la destreza manual, relacionada con la formación de dedos y de uñas planas, la visión estereoscópica (heredada de los prosimios) y en color (que surgió cuando los primeros simios optaron por la vida diurna), que aumentó en gran manera la capacidad para apreciar la distancia, el reconocimiento de los depredadores, la localización del alimento, la comunicación gestual y sobre todo la braquiación propia del desplazamiento en los árboles, que con frecuencia obliga a adoptar posturas erguidas aunque sin llegar al verdadero bipedismo. La vida arborícola se asocia, pues, a movimientos ágiles y rápidos, a una percepción sensorial exacta y, sobre todo, a una fina coordinación sensorimotora, que implica la existencia de una buena corteza cerebral. Todos estos logros fueron de gran trascendencia, ya que constituyeron la base preadaptativa tanto para la ulterior adopción de la locomoción bípeda como para la construcción y manipulación de herramientas, la observación y la capacidad de abstracción, que conducen finalmente al razonamiento y al lenguaje simbólico.

Según YOUNG [44], otro efecto de la adopción de la vida arbórea es que la madre puede transportar sólo un pequeño número de descendientes y debe cuidar de ellos, lo cual, juntamente con la fetalización, hizo posible la aparición de la condición típicamente humana de una niñez y aprendizaje prolongados, que, a mi juicio, constituye la base preadaptativa de la autodomesticación y, por ende, de la evolución cultural.

Si la adopción de la vida arborícola fue de gran importancia preadaptativa para la evolución de los antropoides, mucho más decisivo fue el cambio contrario: el abandono de este hábitat,

ya que esta opción conductual fue el preludio de la asombrosa evolución de los Homínidos. El abandono del bosque condujo a dos cambios rápidos y esenciales para el despegue de los homínidos: el bipedismo (adoptado por los australopitecos) y el aumento espectacular de la capacidad craneana, que en sólo tres millones de años pasó de los 450 c.c. de los australopitécidos, a los 1400 c.c. del hombre actual (Fig. 4).

La transición a la postura erguida fue ciertamente un paso de gran trascendencia evolutiva, ya que requirió una extensa y profunda reestructuración del esqueleto y de las inserciones musculares, incluidos algunos cambios en la morfología de la pelvis femenina, que aumentaron considerablemente la dificultad del parto, con las importantes consecuencias evolutivas que comentaremos más adelante.

Otro cambio anatómico derivado de la postura erguida es el desplazamiento del *foramen magnum* hacia la parte inferior del cráneo, quedando el rostro dirigido hacia delante. Como veremos, este cambio es de gran importancia preadaptativa en relación con el desarrollo del lenguaje hablado, ya que es fundamental para la articulación de los fonemas.

Asimismo, la locomoción bípeda fue muy ventajosa para la vida en la pradera, porque dejaba las manos libres para diversas actividades, como recoger y transportar los alimentos y sobre todo para utilizar piedras y palos. Esto último propició un nuevo y, muy importante, cambio conductual: ante la presencia de grandes animales optaron por no huir sino por enfrentarse a ellos, al principio disputando el alimento a los carroñeros y más tarde convirtiéndose en depredadores, capturando presas cada vez mayores, que usaban como alimento.

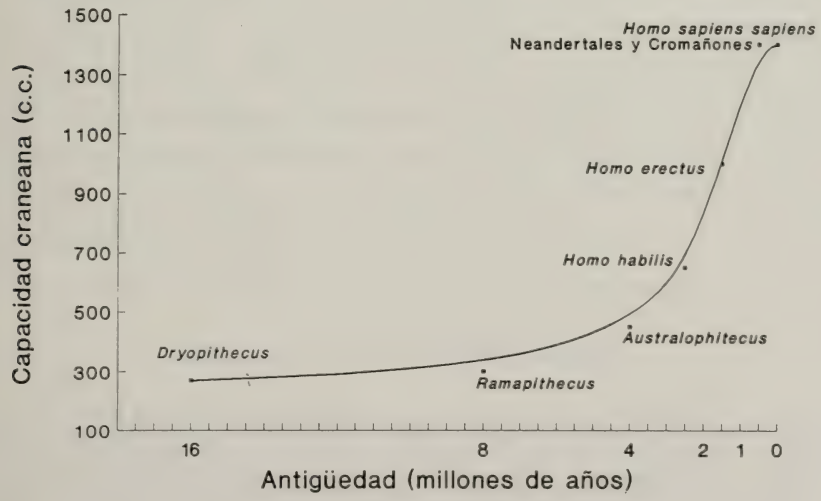


**Figura 4.** *Incremento de la capacidad craneana en la evolución de los Homínidos.*

Vemos, pues, que con el abandono del bosque y salida al campo abierto se produjeron dos importantes cambios en la dieta: la **utilización de alimentos duros** (frutos secos y semillas), lo que les obligaba a valerse de herramientas para hacerlos más fáciles de preparar y de comer, y **el consumo de carne**, que al principio era de pequeños animales que cazaban a la par que recolectaban los alimentos vegetales, pero luego, como se acaba de decir, fueron incorporando animales cada vez mayores, lo cual les obligaba a construir armas cada vez más eficaces.

**Evolución cultural.-** La faceta cultural de la evolución humana se inició hace unos dos millones y medio de años con la aparición de *Homo habilis* y no se ha interrumpido hasta la fecha; pero, como veremos más adelante, hace unos diez mil años dio paso a la llamada civilización, la cual, a su vez, ha provocado profundos cambios tanto en el ritmo como en la dirección de la propia evolución cultural.

Se admite que el principal promotor de la evolución cultural fue precisamente el cambio de dieta subsiguiente al abandono del bosque, pues es razonable pensar que este cambio, y especialmente la inclusión de proteínas animales, diera ventaja selectiva al crecimiento de la corteza cerebral, ya que tanto la "invención" de nuevos utensilios y armas, como la planificación de las partidas de caza, exigen una actividad mental de premeditación y previsión de contingencias, así como un intercambio de ideas, con los subsiguientes avances culturales entre los que cabe destacar el uso del fuego, la utilización de pieles para hacer indumentarias y la ocupación de las cavernas. Es obvio que para desarrollar esta actividad mental era suficiente el encéfalo de 650 - 700 c.c. que poseía *H. habilis*. Cabe suponer, asimismo, que con este homínido comienza la comunicación oral que, aunque rudimentaria, fue el motor de una espiral de realimentación entre el desarrollo de la inteligencia y el avance cultural. El ulterior perfeccionamiento del lenguaje simbólico fue el catalizador definitivo del progreso de la cultura y de la civilización, desde *H. erectus* (capacidad craneana, 1.000 c.c.) hasta el hombre actual. El máximo de capacidad craneana (1.400 c.c.) se alcanzó hace unos 200.000 años con el hombre de neandertal, *H. sapiens neanderthalensis*, que convivió con el hombre de cromañón, *H. sapiens*, y a partir de ambos fueron surgiendo las diversas razas del hombre moderno, *H. sapiens sapiens*, cuya capacidad craneana es igual o ligeramente menor que la de sus antecesores(*).

---

(*) El origen de los neandertales y de los cromañones no está bien conocido, aunque sobre ello hay distintas opiniones más o menos fundamentadas. Algunos autores creen que *Homo erectus*, el gran emigrante, dio origen tanto a los aborígenes actuales de Australia como a los neandertales, en Europa occidental, y cromañones, en Oriente Medio. Estos, de cultura más avanzada que los neandertales, se extendieron hacia Europa y los desplazaron; incluso, según algunos autores, los exterminaron, cometiendo el primer genocidio de la historia de la Humanidad. Sin embargo, los recientes hallazgos de BAR-YOSEF [2], demuestran que no hubo tal exterminio, sino que ambos se mezclaron y que mediante sus largas emigraciones con la consiguiente evolución y diversificación cultural fueron dando origen a las distintas razas del hombre moderno.

Los neandertales fueron hábiles usando utensilios y construyendo sus propios refugios y campamentos, lo que les llevó al desarrollo de una organización social, que hacia mediados de la Edad de Piedra alcanzó una mayor sofisticación, proyectándose incluso hacia el "más allá", lo cual dio origen a ritos como el enterramiento de los muertos. Los cromañones perfeccionaron con habilidad y rapidez las herramientas, y con ellos la cultura humana adquirió cada vez más importancia en aspectos estéticos y artísticos, y el lenguaje se hizo mucho más rico. Ambos antecesores del hombre moderno realizaron largas emigraciones, acabando por colonizar todos los continentes, con lo que se produce el aislamiento geográfico que propició la aparición de las numerosas razas humanas y la consiguiente diversificación de las culturas y de las lenguas. Este sistema de vida, que era fundamentalmente nómada, fue haciéndose cada vez más sedentario en muchas de las comunidades euroasiáticas, hasta que hace unos quince mil años se produce un cambio crucial en la evolución cultural: el hombre, cuya conducta había estado encaminada casi exclusivamente a **sobrevivir** (procurándose el alimento necesario, defendiéndose del frío y de las fieras, y poco más), a partir de entonces pone sus miras en **vivir cada vez mejor**, y fue este cambio el que, a mi juicio, marcó el comienzo de la **civilización**. En este contexto es interesante hacer notar una significativa coincidencia: **la civilización comienza en el momento en que el hombre inicia la manipulación interesada de la biosfera**. En efecto, hace unos doce mil años, hacia finales del Neolítico, se inicia la domesticación deliberada de especies silvestres de plantas y animales. Esta incipiente actividad agrícola y ganadera supuso un profundo cambio en la relación del hombre con la Naturaleza, pues con ella comienza **la explotación la biosfera**. Luego, en la Edad de los Metales, continuaría con la **explotación de la litosfera**. Y esta manipulación interesada del Planeta (extracción de combustibles fósiles, tala de extensas áreas de bosques tropicales, etc.) ha proseguido al ritmo progresivo del continuo avance de la civilización, hasta el punto de que en la segunda mitad de nuestro siglo la explotación de los recursos naturales ha adquirido tales proporciones que se ha convertido en un motivo de seria preocupación, como se refleja en las publicaciones de BOOTH [5], ERICKSON [12], LEWIN [24,25], REPETTO [37], WILSON [43].

## 4. SINGULARIDADES DE LA ESPECIE HUMANA

La evolución cultural, que se inició hace unos dos millones y medio de años con el paso de *Australopithecus* a *Homo habilis*, ha conferido a la especie humana una serie de características singulares que establecen una neta separación cualitativa del hombre con respecto a los demás primates. Autores muy diversos (como, por ejemplo, BAER [1], BEALS [3], DELBRUCK [8],

DOBZHANSKY [10], HICKMAN [17], KOENIGSWALD [22], MONOD [30], PINES [35], STEBBINS [39], TEMPLADO [40], WILSON [43] y YOUNG [45]) destacan unas u otras de tales características, según la importancia que cada uno de ellos les atribuye como exponentes de la peculiaridad de la especie humana. Las más citadas son la autoconsciencia, la construcción de herramientas, la hipertrofia mental, la comunicación mediante el lenguaje simbólico, la capacidad de intuición y de generalización, la fetalización, la autodomesticación, el altruismo, la distinción entre el bien y el mal, la capacidad de abstracción y de apreciación de la belleza, las inquietudes por la magia y la religión,la agresividad intraespecífica y la casi ilimitada capacidad de aprendizaje. Muchas de estas singularidades son interdependientes en el sentido de que guardan cierta relación de causalidad o están de algún modo correlacionadas, y algunas son, incluso, obviamente contradictorias, como ocurre con el altruismo y la agresividad. Pero, creo que en líneas generales se podrían reducir a tres: **la mente**, **el lenguaje simbólico** y **la agresividad intraespecífica**.

¿**Cómo y cuándo surgieron estas tres particularidades de la especie humana**? Dado que es muy probable que las tres hayan surgido y evolucionado simultáneamente en estrecha interdependencia con la evolución cultural, parecería lógico considerar conjuntamente bajo un mismo epígrafe las cuestiones relativas a su origen; no obstante, creo que se facilitaría el análisis tratándolas separadamente en epígrafes yuxtapuestos, si bien será inevitable hacer algunas alusiones cruzadas entre éstos.

### 4.1. Corteza cerebral, mente y actividades mentales.

El crecimiento evolutivo del cerebro no es privativo de los Primates, sino que se ha producido también en los demás mamíferos y en las aves, que, como hemos dicho, surgieron a partir de los reptiles. Ahora bien, a lo largo de la evolución de estos dos grupos de vertebrados se ha conservado el primitivo encéfalo reptiliano, de forma que, como dice MACLEAN [28], su encéfalo está integrado por tres componentes bien definidos: el cerebro visceral reptiliano, el paleocortex o sistema límbico, y el neocortex o corteza cerebral propiamente dicha, que rodea al paleocortex y que alcanza su máximo desarrollo en el hombre. En este contexto JACOB [18] interpreta el cerebro humano como el resultado de un proceso al que da el nombre de *tinkering* y que define como la construcción de algo útil ensamblando cosas nuevas con cosas viejas, pero sin saber exactamente lo que se va a hacer. Según él, a lo largo de la evolución se produciría una sucesiva adición de corteza cerebral nueva sobre viejo encéfalo reptiliano; pero, debido a la excesiva rapidez de este proceso, en el cerebro humano no se ha logrado una perfecta jerarquización y coordinación de las funciones correspondientes a las estructuras nuevas y viejas. Así, el encéfalo reptiliano, que controla las actividades viscerales y emocionales, no parece poseer ningún poder de

discriminación ni capacidad de simbolización ni está totalmente bajo el control del neocortex, sino que, como dice DELGADO GARCIA [9], su función está coordinada más directamente por el paleocortex, de modo que, tanto en las aves como en los mamíferos los impulsos viscerales y apetitivos del viejo cerebro reptiliano quedan condicionados y modulados por el sistema límbico, que se encarga de procesar y escrutar la información procedente de extero e interorreceptores. El paleocortex actúa, por tanto, como un poderoso inhibidor selectivo de apetitos e impulsos impuestos por las necesidades básicas inmediatamente relacionadas con la supervivencia y que surgen en función de las condiciones del medio interno y del medio externo. En cambio, el neocortex, que controla la actividad cognitiva intelectual, no parece actuar directamente sobre el encéfalo reptiliano, sino que, como señala GOULD [15], "creció tan deprisa que perdió el control de los centros emotivos".

En el encéfalo humano se ha producido, pues, un cierto desajuste debido a que, como dice el mismo Jacob, su desarrollo evolutivo mediante el proceso de *tinkering*, ha sido algo así como colocar un reactor en un coche de caballos y que, por tanto, no es de extrañar que en ambos casos haya accidentes, se tropiece con dificultades o se originen conflictos.

La corteza cerebral humana contiene unos cien mil millones de cuerpos neuronales con sus correspondientes axones y dendritas formando una complejísima red de más de un billón de interconexiones sinápticas. Este conjunto, que constituye más del 80% de la masa del encéfalo, es una lámina de un par de milímetros de espesor y de 1,5 metros cuadrados de superficie, que se extiende sobre ambos lados del encéfalo formando los hemisferios cerebrales, cuyos surcos y circunvoluciones son en realidad numerosos repliegues que reducen esta superficie a su tercera parte. En cada hemisferio se distinguen cuatro lóbulos: frontal, temporal, parietal y occipital, que, aunque delimitados por surcos o pliegues profundos, están profusamente conectados entre sí mediante las neuritas de sus neuronas. Es todo este conjunto el que constituye la base estructural de las actividades mentales, de forma que todos los fenómenos de pensamiento y percepción se traducen en potenciales de acción que se mueven a través de la corteza. Hay autores, como PINES [35] y CRICK y KOCH [6], que opinan que gran parte del pensamiento, planificación, lenguaje, imaginación, creatividad y capacidad de abstracción humanos proceden de esta lámina convoluta. Otros, como Eccles [11], afirman que el cerebro es la sede de la mente a la que consideran como una propiedad emergente, que surge de la actividad colectiva y finamente coordinada de todas las regiones cerebrales. En cambio, otros, como FISCHBACH [13] no son tan rotundos, pues aun admitiendo que la compleja estructura cerebral es suficiente para coordinar todas las actividades tanto motoras como sensoriales y emocionales de los animales, no están convencidos de que el cerebro humano, a pesar de ser la estructura más compleja del Universo, sea la base anatómica de la autoconciencia, de la reflexión, de la abstracción, de la imaginación y de los estados de ánimo. Hay, pues, un

reconocimiento tácito de que aún se ignora **qué** es la mente y de que a lo único que se puede aspirar actualmente es a hacer un estudio analítico de las actividades mentales. En una situación similar nos encontramos también los biólogos cuando tratamos de establecer el objeto fundamental de la Biología, ciencia que, a pesar de sus indudables avances cada vez más rápidos y espectaculares, aún no ha establecido **qué** es la vida, limitándose actualmente a investigar **cómo** es la vida, mediante el análisis de los fenómenos biológicos. Tanto en un caso como en otro se sustituyen los sustantivos, "mente" o "vida", por los adjetivos "mental" o "biológico"; en otras palabras, la investigación de la mente humana no ha rebasado la etapa analítica, y, por tanto, todavía está lejos de establecer qué es y cómo surgió la mente humana.

Precisamente una de las mentes más brillantes de la Humanidad, Max DELBRÜCK, en su ensayo "Mente y materia" [8], deja sin contestación la interrogante múltiple que él mismo se formula: "¿Cómo es posible que en un mundo que inicialmente no contenía vida --ni, por tanto, mente alguna-- apareciera la inteligencia? ¿Cómo pueden aparecer el entendimiento y la capacidad de discernir la verdad, a partir de la materia inerte?" Y, aun admitiendo que la mente se haya originado por un proceso de selección natural, Delbrück se plantea otra cuestión: "¿cómo es posible que dicho proceso haya dado lugar a una mente capaz de ahondar en las más complejas abstracciones matemáticas, en la estructura de la materia o en la naturaleza de la misma vida, todo lo cual era de dudosa o nula utilidad para el hombre de las cavernas?" Al término de este interesante ensayo, en el que se refleja su profundo conocimiento tanto de la física como de la astronomía, antropología, biología y genética, Delbrück concluye que, en el caso del origen de la mente, la naturaleza fue sumamente pródiga, pues dio bastante más de lo necesario.

Reflexionemos sobre estas interrogantes partiendo de la base de que el mecanismo de la evolución humana es el mismo que subyace en la de los demás seres de la biosfera. Por tanto, si aceptamos que *Ramapithecus* y *Australopithecus* son precursores de *Homo*, no hay ninguna razón para dudar de que el desarrollo de la inteligencia, de la creatividad, de la memoria, de la capacidad de reflexión y de abstracción y demás atributos de la mente humana, haya estado condicionado por las fuerzas evolutivas, aunque, como veremos, hay que tener en cuenta el efecto potenciador de la propia evolución cultural.

Por otra parte, si, como afirma ECCLES [11], el cerebro es la sede de la mente, hemos de buscar las respuestas a las interrogantes de Delbrück en la evolución del cerebro de los Primates. Ello nos plantea otra: ¿Cómo pudo desarrollarse evolutivamente el cerebro de los homínidos hasta llegar a ser el substrato de todas las actividades mentales? Aunque no es fácil abordar ordenadamente esta cuestión, creo se podría empezar tratando de esclarecer el que probablemente fue el primer paso de este proceso evolutivo y que, como queda dicho, se produjo con relativa rapidez hace más de dos millones de años, esto es, la transición desde

*Australopithecus afarensis*, cuyo encéfalo era aproximadamente del mismo volumen (entre 450 y 500 c.c.) que el de un chimpancé, hasta *Homo habilis*, cuyo encéfalo (de unos 700 c.c.) lo capacitaba para desarrollar algunas actividades mentales, como la invención de utensilios, la previsión de contingencias en la planificación de las cacerías y posiblemente el intercambio de ideas. Cabe pensar, pues, que esta transición entrañó no sólo un considerable incremento del número de neuronas, sino también la consiguiente multiplicación de las interconexiones sinápticas.

¿Qué factores determinaron este primer incremento del volumen y de la complejidad estructural del encéfalo? Dada la imposibilidad de comparar directamente los cerebros de estos dos homínidos fósiles, hemos de hacer algunas conjeturas basadas en datos paleontológicos y en resultados de recientes estudios en los que se compara el hombre actual con el chimpancé y otros antropoides en cuanto a determinados aspectos bioquímicos, genéticos y neurofisiológicos. Estos datos y resultados apoyan la idea de que el rápido desarrollo cerebral de los homínidos ha estado motivado e impulsado principalmente por la **macromutación** y por la **plasticidad cerebral**, potenciada a su vez por la **fetalización**. Veamos:

Teniendo en cuenta que, como han demostrado KING y WILSON [21], muchas de las proteínas humanas (citocromo c y las cadenas $\alpha$, $\beta$ y $\Gamma$ de la hemoglobina) son idénticas a las del chimpancé tanto en su secuencia de aminoácidos como inmunológicamente y que, por consiguiente, los genes estructurales que codifican la estructura primaria de estas proteínas en ambas especies han de ser idénticos, es razonable pensar que esta similitud genética era mucho mayor entre *Australopithecus* y *Homo habilis*. En otras palabras las diferencias entre estos homínidos no eran debidas a mutaciones en genes estructurales, sino a **macromutaciones**, que, al afectar a genes reguladores, influyen profundamente en el desarrollo embrionario y conducen a cambios fenotípicos importantes, ya que alteran el tiempo y el modo de expresión de varios genes simultáneamente. Parece, pues, verosímil que el rápido aumento de volumen del cerebro de los homínidos haya sido impulsado en principio por este tipo de mutaciones, que determinarían una o más duplicaciones extra de las neuronas.

Pero, más importante que este aumento del número de neuronas es la subsiguiente formación de la compleja red de conexiones sinápticas que caracteriza al cerebro humano. Según recientes investigaciones de FISCHBACH [13] y de SHATZ [38], esta red de interconexiones es el resultado del crecimiento orientado de los axones, en el que se distinguen dos fases: en la primera, que se realiza antes del nacimiento, el crecimiento de los axones está determinado genéticamente hasta que éstos alcanzan la zona apropiada; como ha demostrado SHATZ [38], los axones crecen en la dirección adecuada debido a la existencia de ciertos productos génicos

que actúan como sensores moleculares específicos. En la segunda fase, que ocurre después del nacimiento, es cuando se produce la verdadera maduración cerebral, al terminar de establecerse con suma precisión las conexiones sinápticas. Se caracteriza esta segunda fase porque el crecimiento de los axones, en lugar de estar determinado genéticamente, está estrechamente condicionado por una de las propiedades más trascendentes del sistema nervioso: su **plasticidad**, esto es, su casi ilimitada capacidad de remodelación de las conexiones sinápticas, dependiendo de la mayor o menor actividad neuronal, hasta el punto de que esta actividad puede alterar el número y localización de las sinapsis. Son los propios potenciales de acción los que modifican los circuitos a través de los cuales se trasmiten; como diría Machado, "se hace camino al andar". Ello es particularmente cierto y ostensible durante la vida perinatal, cuando el recién nacido entra en contacto con el mundo exterior, ya que las ulteriores conexiones sinápticas dependen de impulsos nerviosos procedentes no sólo del cerebro, sino también de los receptores de estímulos del entorno. Así, aunque el cerebro del niño recién nacido contiene ya la totalidad de las neuronas, su peso es de unos 300 gramos (apenas el 25% del adulto), y por tanto su crecimiento se debe a un incremento de tamaño de los cuerpos neuronales y al aumento del número de dendritas y de axones, así como a la prolongación de éstos siguiendo trayectorias precisas hasta conectar con la siguiente neurona. De este modo se van estableciendo las interconexiones entre las distitas zonas y capas de la corteza cerebral del adulto, y, como afirma FISCHBACH [13], es precisamente la intrincada complejidad de la red de interconexiones neuronales la que distingue a *Homo sapiens* de los demás animales.

La plasticidad cerebral también la presentan otros primates, como se desprende de los experimentos de KANDEL y HAWKINS [20], quienes han comprobado que si a un macaco se le hace ejercitar los dedos índice y anular de una mano (haciendo girar un disco impulsándolo continuamente con esos dos dedos), al cabo de poco tiempo ha aumentado no sólo la destreza manual del animal sino también el volumen de las correspondientes zonas motoras de la corteza cerebral. Pero esta propiedad es mucho más acentuada en el hombre, hasta el punto de ser la base de la extraordinaria capacidad de aprendizaje característica de la especie humana, así como de la adquisición de la increíble destreza de los pianistas, violinistas, mecanógrafos, malabaristas, prestidigitadores, etc., y de toda persona que consigue superarse día a día mediante el continuo entrenamiento.

Esta enorme plasticidad del cerebro humano ha estado propiciada por algunos rasgos preadaptativos que surgieron con la aparición de las dos singularidades básicas de los homínidos: el bipedismo y el rápido crecimiento del encéfalo. Veamos. Uno de los escollos más importante con que tropezó la evolución de los homínidos fue sin duda la incompatibilidad de estas dos singularidades, debida a que el bipedismo, al hacer más angosto el canal del

parto, limita el crecimiento del encéfalo y del cráneo que lo contiene. Cabe pensar, pues, que esta incompatibilidad condicionó la evolución de los australopitécidos, en el sentido de que la mayoría de estos primeros homínidos hubieron de "renunciar" al desarrollo cerebral, y quizás ésta fuera la causa de su extinción. Ahora bien, los datos paleontológicos indican que una de las especies, *Australopithecus afarensis* (volumen cerebral 450 c.c.), "encontró" el modo de compatibilizar el bipedismo con el aumento de la masa encefálica, y ello posibilitó la aparición de *Homo habilis* (volumen cerebral 650 c.c.). Esta "solución" evolutiva pudo consistir en que la mutación determinante de la duplicación extra de las neuronas fuese acompañada de otra que determinara un acortamiento de la vida intrauterina del feto, que nacería antes de que su cráneo fuese demasiado grande. En los subsiguientes pasos hasta llegar a *H. sapiens* cada incremento de la masa cerebral tuvo que ser compensado por la correspondiente disminución de la vida intrauterina, que ha quedado reducida a nueve meses en lugar de los quince que debieran ser atendiendo a la masa corporal y a la vida media.

Esta reducción del período de gestación fue fundamental no sólo porque permitió el aumento del volumen encefálico sino también porque dio lugar a la **fetalización**, esto es, al nacimiento en estado fetal. Esta otra consecuencia tuvo gran importancia preadaptativa, porque ha sido el factor potenciador de la plasticidad cerebral en tanto en cuanto acorta el período en que el crecimiento de los axones está determinado genéticamente mediante sensores moleculares y adelanta el comienzo de la fase en que las conexiones interneurales específicas están condicionada por la propia actividad neuronal. En otras palabras, con el adelantamiento del parto, se desencadena mucho antes la maduración cerebral progresiva impulsada por los estímulos del mundo exterior.

Quizás podamos ya intentar explicar la **prodigalidad de la evolución del cerebro** basándonos en los comentarios que acabamos de hacer. Para ello, postulemos que el desarrollo evolutivo del encéfalo de los homínidos ha progresado a un ritmo creciente debido a que ha estado sujeto a una espiral de realimentación impulsada por la plasticidad cerebral, en dos niveles diferentes.

El primero de estos niveles de realimentación afecta a la segunda fase de la maduración cerebral, en el sentido de que cuanto mayor sea la actividad neural tanto mayor será la rapidez y la precisión de las interconexiones sinápticas que se forman, lo que se traduce en un aumento de la complejidad estructural, con el consiguiente incremento de la actividad neural, que, a su vez, estimula el establecimiento de nuevas interconexiones, y así sucesivamente. Es concebible, pues, que en algún momento el cerebro de *Homo habilis* alcanzase un umbral crítico de complejidad estructural suficiente para la **previsión de contingencias** y, por ende, para la fabricación del **primer utensilio.** Con esto se pone en marcha la **evolución cultural**, que, a través del segundo nivel de realimentación postulado,

quedó para siempre estrechamente vinculada al desarrollo evolutivo del cerebro, en el sentido de que la aparición progresiva de las actividades mentales y los avances culturales se vienen impulsando mutuamente a través de una espiral ascendente, que no se ha interrumpido hasta la actualidad.

Cabe pensar, por tanto, que la prodigalidad de la naturaleza con respecto a la mente humana consistió, todo lo más, en dar al hombre de Neanderthal un encéfalo de 1.400 gramos dotado, eso sí, de una plasticidad potencialmente ilimitada, que sirvió de motor de la espiral de retroalimentación inherente a la evolución cultural, de forma que aquella mente que en principio servía, como dice Delbrück, únicamente para construir y usar utensilios de piedra, establecer un mínimo de organización social para la caza y contar cuentos sobre cacerías alrededor de la hoguera, le permite ahora, sólo doscientos mil años después, "llegar a las abstrusas lejanías de la teoría numérica, la mecánica cuántica, la relatividad, las partículas elementales y la genética molecular".

Pero, dado que la evolución cultural no ha terminado, se puede afirmar que aquel encéfalo de los neandertales, cuyo volumen no ha aumentado en los últimos doscientos mil años, seguirá siendo el soporte de una mente cada vez más capaz de ahondar en teorías aún más abstrusas. Ello es concebible si se tienen en cuenta las dos formas de potenciación de la capacidad mental: por acumulación de conocimientos a través de las generaciones (conexión **en serie** de los cerebros) y, lo que es más importante, porque un grupo de intelectuales, actuando coordinadamente en equipo, esto es, conectando **en paralelo sus cerebros**, puede realizar labores que sobrepasan con mucho la eficacia de cada uno de ellos por separado.

### 4.2. Lenguaje simbólico

Hoy se acepta sin reservas la opinión de BEALS y HOIJER [3] de que "el lenguaje es probablemente la más valiosa de las singularidades del hombre, ya que le permite comunicarse directamente con sus semejantes posibilitando no sólo el quehacer operativo y coordinado, sino también la confrontación de ideas y experiencias, así como la transmisión acumulativa de los conocimientos a través de las generaciones, ya sea mediante la palabra hablada como por la escritura o la grabación de la palabra por medios cada vez más sofisticados. Por consiguiente, tanto el avance de la evolución cultural como el progreso de las civilizaciones, basados ambos en la convivencia y en la cooperación, habrían sido imposibles sin el lenguaje".

Conviene aclarar, no obstante, que la comunicación entre individuos de una misma especie es un rasgo general de todos los animales, y en muchas especies gregarias o sociales esta comunicación interindividual es una necesidad fundamental. A veces, como ocurre en algunos insectos sociales como las abejas, el código de señales es tan sofisticado y complejo, que no es fácil establecer una separación neta con el lenguaje humano. Lo mismo ocurre con los

gestos y sonidos de muchas aves gregarias.

También el enigma referente al origen y evolución del lenguaje humano ha sido abordado por especialistas muy diversos (antropólogos, etólogos, neurofisiólogos, lingüistas, sociólogos, etc), y en consecuencia, existe una gran cantidad de información, que concierne principalmente a dos cuestiones: la comparación entre el lenguaje humano y el de los animales y la búsqueda de respuestas a la interrogante "¿cuándo y cómo surgió el lenguaje simbólico?"

En lo que respecta a la primera de estas cuestiones, cabe resumir aquí algunos resultados de estudios etológicos, lingüísticos y neurofisiológicos. Destaquemos en primer lugar los estudios del etólogo austriaco Konrad LORENZ quien, gracias a sus extraordinarias dotes de observación, ha establecido una neta separación entre el lenguaje de los animales y el habla humana. Según este autor [26,27], los animales, particularmente las especies sociales o gregarias, expresan sus "sentimientos" mediante un cierto número de movimientos y sonidos innatos; también tienen modos innatos de reaccionar ante estas señales siempre que las vean o las oigan en un miembro de su especie. Por ejemplo, las especies de aves altamente sociales, como el grajo o el ganso, tienen un complejo código de estas señales que son emitidas y comprendidas por todos los individuos sin ninguna experiencia previa. Este código de señales puramente innato de una especie animal difiere fundamentalmente del lenguaje humano, cuyas palabras tienen que ser aprendidas laboriosamente por el niño una por una. Además, los "lenguajes" animales, al ser un carácter específico fijado y trasmitido genéticamente -- exactamente igual que cualquier otro carácter fenotípico-- son ubicuos para cada una de las especies, esto es, el lenguaje es el mismo para todas los individuos de una misma especie aún cuando pertenezcan a poblaciones aisladas geográficamente. En cambio, en el hombre, aunque su capacidad lingüística está condicionada genéticamente, los distintos lenguajes no son hereditarios, sino que, como parte integrante de la cultura, han de ser totalmente adquiridos por aprendizaje. Más adelante comentaremos la importancia de esta diferencia.

Sobre los aspectos lingüísticos y neurofisiológicos existe una abundante información, que resumimos aquí, apoyándonos principalmente en los capítulos que DELBRUCK [8], DOBZHANSKY [10], WILSON [43] y YOUNG [44] dedican a estos aspectos, así como en recientes publicaciones de DAMASIO y DAMASIO [7], de GREENBERG y RUHLEN [16] y de RENFREW [36].

El rasgo más llamativo, aunque no el más importante, del lenguaje humano es su diversidad, pues se estima que en la actualidad se hablan más de 5.000 idiomas ininteligibles entre sí, aunque derivados de una misma lengua original que ha ido diversificándose a la par que la evolución cultural. En todos ellos es posible expresar ideas, conceptos, emociones, sentimientos y estados de ánimo, mediante la emisión de fonemas que se combinan entre sí para formar las palabras (símbolos) que, para que tengan significado, se han de pronunciar en un determinado orden, de acuerdo con las reglas gramaticales de cada lengua. El número de

fonemas varía entre diez y setenta, según las distintas lenguas, aunque la comunicación es posible con menor número de fonemas, como ocurre con el lenguaje silbado de los gomeros, en el que hay sólo seis (*). Ahora bien, el habla no consiste únicamente en una emisión de sonidos controlada por determinadas áreas motoras de la corteza cerebral, sino que la índole simbólica de cualquier lenguaje humano entraña complejos procesos mentales, como son la transformación del significado en sonido por parte de quien habla y transformación del sonido en significado por parte de quien escucha; además, para que la comunicación sea eficaz, es esencial que estos procesos mentales sean perfectamente reversibles en ambos interlocucutores.

Por otra parte, la plasticidad cerebral confiere al lenguaje humano la capacidad prácticamente ilimitada de componer nuevas expresiones comprensibles, de modo que con un número finito de palabras se puede expresar un número infinito de ideas. Otro rasgo indicativo de la mediación de actividades mentales específicas en el lenguaje simbólico es su carácter representativo, que consiste en la posibilidad de referirse a objetos, hechos y situaciones no necesariamente presentes en el entorno inmediato, sino sea cual fuere su distancia en el espacio y en el tiempo; tampoco es necesario que sean reales, sino que pueden ser puramente imaginarias.

Desde hace tiempo muchos neurocirujanos y neurofisiólogos se han interesado por localizar en el cerebro humano la base orgánica de las actividades mentales implicadas en el lenguaje simbólico. Al principio basaban sus estudios en relacionar ciertos trastornos del lenguaje con lesiones cerebrales fortuitas y recientemente se investiga mediante el empleo de sofisticados métodos para provocar o detectar impulsos nerviosos en distintas zonas muy concretas de la corteza cerebral. De este modo se han identificado **el área de Broca**, en la que se coordinan todos los movimientos musculares (labios, lengua, cuerdas vocales, etc) implicados en la articulación de las palabras, y **el área de Wernicke**, receptor primario de los estímulos auditivos. Ambas áreas, que por regla general están situadas en el hemisferio izquierdo, están interconectadas por un grueso haz nervioso, denominado **fascículo arqueado**. Ninguna de estas áreas existen en la corteza cerebral de los demás primates, ni siquiera en los póngidos más evolucionados.

También se ha profundizado en el estudio de los mecanismos de procesamiento del lenguaje y se ha demostrado la existencia de grupos de estructuras neurales que actúan influyéndose recíprocamente. Así, DAMASIO y DAMASIO [7] distinguen tres de estos grupos estructurales: uno de ellos es muy extenso y comprende muchas de estas estructuras situadas en ambos hemisferios y que sirven para representar los conceptos; otro, menos extenso y por

(*) Acerca del origen y peculiaridades del lenguaje silbado de los gomeros el lector podrá encontrar más fuentes de información en una reciente publicación de NAVARRO MEDEROS [31].

lo común situado en el hemisferio izquierdo, que procesa la formación de las palabras y las frases, y el tercero es un estrato crucial de mediación, en gran parte localizado también en el hemisferio izquierdo, y que sirve de intermediario entre los dos primeros, es decir, a partir de conceptos estimula la emisión palabras, o bien hace que el cerebro evoque los conceptos correspondientes a las palabras recibidas.

Antes de considerar la cuestión del origen del lenguaje simbólico conviene comentar brevemente dos singularidades de la especie humana indicativas de que su capacidad lingüística está determinada genéticamente. Me refiero al hecho de que cualquier niño recién nacido normalmente constituido posee, sea cual fuere su raza o condición social, dos rasgos innatos: **propensión a la emisión de sonidos** y **capacidad de aprender a expresarse correctamente en uno o más de los diversos idiomas actuales**. Con respecto al primero de estos rasgos STEBBINS [39] señala que entre los bebés y las crías de póngidos existe una notable diferencia en cuanto a la emisión de sonidos: los primeros están constantemente emitiendo balbuceos, hasta que logran articular palabras reconocibles, los segundos, en cambio, jamás balbucean, sino que permanecen completamente silenciosos hasta que pueden imitar los gritos que emiten los adultos. Por otra parte, es cierto que los macacos, babuinos y chimpancés tienen un rico repertorio de gritos y una tendencia genética a emitirlos con el fin de comunicar estados emocionales, pero este repertorio es insignificante comparado con el del hombre, pues, como veremos, la adopción de la postura erguida permitió a los homínidos enriquecer el repertorio de sonidos hasta el punto de que el hombre actual puede emitir los fonemas necesarios para comunicarse en todos los idiomas. Es más, como dice WILSON [43], incluso sin palabras, la comunicación humana sería la más rica conocida, pues el número de las señales no vocales, incluidas las expresiones faciales, posturas corporales y movimientos, y toques, posiblemente supere el centenar. En este contexto cabe citar que los sordomudos pueden comunicarse mediante signos visio-motores (cinemas) con la misma eficacia del lenguaje hablado.

Aún mayor significado evolutivo tiene el segundo de los rasgos enunciados, la capacidad potencial innata de aprender cualquier idioma, puesto que indica que el cerebro del recién nacido está dotado de la plasticidad suficiente para convertirse en el soporte estructural de todas las actividades motoras y mentales específicas del idioma en cuestión. Este rasgo distintivo de los humanos sugiere dos hechos evolutivamente importantes: en primer lugar concuerda con la idea generalmente admitida de que el lenguaje simbólico, como la vida, surgió una sola vez, y en segundo lugar, al tratarse de un rasgo determinado genéticamente, plantea la cuestión de cómo y cuándo se establecieron estos genes en las poblaciones humanas o prehumanas, cuya contestación sería de gran utilidad para la elucidación del origen del lenguaje simbólico.

**5. 2.3. ¿Cuándo y cómo surgió el lenguaje simbólico?**

Algunos autores, como WILSON [43], opinan que el desarrollo del lenguaje simbólico, representa un salto cuántico en la evolución, comparable al ensamble de la célula eucariótica. Como ya hemos dicho, también se acostumbra a atribuir el origen de la mente a otro salto cuántico en la evolución de los homínidos; suele decirse, asimismo, que la mente es una propiedad emergente. En este contexto debo confesar que desconozco si las expresiones "salto cuántico" o "propiedad emergente" tienen algún significado filosófico o metafísico, pues a mí, como biólogo, me sugieren la idea de un "destello" inesperado y, por tanto, me parecen conceptos vacíos, a los que se le podría dar contenido si se explicase cómo y cuándo se produjo tal destello, y ello es lo que pretendo hacer aquí aun a sabiendas de que mis razonamientos pueden resultar demasiado simplistas.

Comencemos con el "cómo", que se presta a más variadas suposiciones. Es posible que la comunicación entre los primitivos homínidos fuese una combinación de gestos significativos y de exclamaciones vocales expresivas. La voz pudo haber sido más importante en las partidas de caza, mientras que los gestos manuales y faciales se usarían para la enseñanza y el aprendizaje en los campamentos. Esta suposición implica que el lenguaje evolucionó durante centenares de milenios, principalmente cuando *H. erectus* era el homínido dominante, aunque es muy probable que el "destello" del lenguaje se produjera en un individuo de *H. habilis*, que, seguramente formando parte de un grupo que vagaba por la sabana, haciendo uso de su rico repertorio de gestos y vocalizaciones, articuló uno o más fonemas (tal vez para hacer notar alguna circunstancia, como la presencia de un depredador o de algún alimento), y esta palabra pudo ser correctamente interpretada por otro individuo, siendo ésta la primera vez que un fonema o conjunto de fonemas provocan la "misma" representación mental tanto en el que "habla" como en el que "escucha". Y si este último fue también capaz de memorizar dicha palabra y de repetirla ante la misma circunstancia, podemos decir que surgió el primer símbolo, y además suponer que, dada su indudable ventaja adaptativa, sería seguido de otros que sirvieron para denominar los demás elementos del entorno, con lo que se inicia un largo proceso de aprendizaje que ya no se interrumpe hasta el momento actual, siguiendo una trayectoria paralela a la evolución cultural, y que, como ésta, se produce a un ritmo creciente concomitante con el desarrollo de la mente, sujeto a un feed-back positivo con los avances sociales, religiosos, políticos, etc.

Pero, aceptando que el lenguaje simbólico surgió así, ¿cuándo surgió? Esta interrogante ha sido abordada desde muchos ángulos y, en consecuencia, se han propuesto hipótesis muy diversas que, quizás haciendo una excesiva simplificación, podríamos agrupar atendiendo a los criterios en que se basan: lingüísticos, culturales y paleontológicos.

DELBRÜCK [8], apoyándose en criterios lingüísticos, sitúa el origen del lenguaje simbólico

antes de la separación de los indios americanos de sus parientes asiáticos. Esto ha sido corroborado por GREENBERG y RUHLEN [16], quienes demuestran, además, que los pobladores del Nuevo Mundo llegaron desde Asia en tres oleadas migratorias, que dieron lugar, respectivamente, a las tres familias lingüísticas actuales: amerindia, na-dene y eskimo-aleutiana. Por otra parte, cada vez son más los autores que, como STEBBINS [39] y DELBRÜCK [8], basándose en criterios culturales remontan el origen del lenguaje hasta *Homo habilis*, relacionándolo con la fabricación de herramientas, armas arrojadizas y con la planificación de las partidas de caza.

Quizás el criterio más objetivo para datar el origen del lenguaje humano es el que se apoya en la evolución orgánica de los primates, especialmente en lo que se refiere a la aparición y subsiguiente perfeccionamiento de órganos relacionados con la base orgánica del lenguaje. Como ya hemos señalado, en la corteza cerebral humana existen una serie de centros (áreas de Broca y de Wernicke, fascículo arqueado) que no se encuentran en los demás primates vivientes. La investigación en este sentido sería muy esclarecedora si fuese posible hacer un estudio comparativo de los cerebros de *Australopithecus*, *Homo habilis* y *H. erectus*, y, dada la imposibilidad de una comparación directa, en recientes estudios se están haciendo reconstrucciones de cráneos fósiles, principalmente de australopitécidos, con la idea de relacionar el relieve de sus superficies internas con posibles circunvoluciones; pero aún no se han obtenido resultados significativos, y en todo caso habría que ser muy cautelosos en su interpretación.

También se ha abordado este estudio investigando en los restos fósiles de los Homínidos rasgos anatómicos que pudieran estar relacionados con la modulación de las vocalizaciones, especialmente con la configuración de la laringe y con la movilidad de la lengua. Comentaremos dos tentativas en este sentido:

Según MARLER (tomado de WILSON [43]), la competencia vocal de los humanos se hizo posible gracias a los cambios anatómicos que se produjeron como consecuencia de la postura erguida y que afectan a la cavidad bucal y al tracto respiratorio superior. En efecto, con el rostro dirigido por completo hacia delante, la cavidad bucal forma un ángulo de unos 90 grados con el espacio faríngeo superior. Esta configuración permite retrasar la base lingual hasta formar parte de la pared anterior del tracto faríngeo superior. Asimismo, se han alargado considerablemente el espacio faríngeo y la epiglotis. Estos dos cambios principales son los responsables de la versatilidad en la producción de sonidos. Cabe suponer, pues, que esta competencia vocal existía ya en los australopitécidos.

La otra tentativa, impulsada por KOENIGSWALD [22], se basa en un estudio comparado de la anatomía de la mandíbula, cuyos resultados son bastante sugestivos. En los monos, el lado interno de la sutura intermaxilar, esto es, la parte que queda detrás del mentón, aparece

totalmente lisa y muestra sólo orificios vasculares. En el hombre, en cambio, encontramos en este lugar una pequeña osificación conocida con el nombre de *spina mentalis* y en la que se insertan los músculos hioideos y genioglosos, que son indispensables para el movimiento de la lengua. Se admite que la presencia de estas osificaciones es una de las pruebas anatómicas más seguras en favor de un lenguaje articulado. Según Koenigswald, esta espina se aprecia claramente también en el Hombre de Pekín, en el Hombre de Heidelberg y en todas las formas humanas primitivas y, por tanto, opina que todos los homínidos conocidos hasta hoy fueron al menos habladores en potencia. Cabe suponer, pues, que aunque la riqueza de vocalizaciones se puede relacionar con la adopción de la postura erguida, hace unos cuatro millones de años, el origen del lenguaje fue muy posterior, coincidiendo con el empleo del primer símbolo, hace unos dos millones de años, pues es lógico pensar que la simbolización (que implica abstracción y representaciones mentales) no fue posible hasta que el cerebro alcanzó un determinado volumen, coincidiendo con la aparición de *H. habilis*. Ello nos lleva a relacionar estrechamente el comienzo de la evolución cultural con la aparición del lenguaje simbólico, hasta el punto de que esta singularidad humana ha quedado individuamente vinculada a la espiral de progresiva potenciación recíproca entre el desarrollo de la mente y el avance cultural. Tan es así, que, como queda dicho, el lenguaje se ha convertido en la palanca más potente de la autodomesticación de la Humanidad, ya que es el único medio de comunicar ideas tanto sociales como filosóficas, políticas y religiosas. Por consiguiente, aquellos grupos que dispongan de medios eficaces para difundir sus propias ideas, terminarán por inculcarlas en el resto de la Humanidad. Esperemos que tales ideas no sean de agresión y dominio, sino de solidaridad humanitaria.

### 4.3. La agresividad intraespecífica

Hemos visto que el desarrollo de la mente y del lenguaje simbólico ha conferido a *H. sapiens* una enorme ventaja selectiva que, al impulsar su evolución cultural, lo ha convertido en la especie dominante de la biosfera. En cambio, otra de las singularidades del hombre, su peculiar agresividad intraespecífica, se nos presenta como un rasgo contraproducente que, potenciado por la propia evolución cultural, lejos de ser ventajoso para la especie, puede conducir a su extinción. Por tanto, en el caso de la agresividad humana, hemos de considerar, además de su origen, las posibles causas su incongruencia evolutiva.

No trataremos aquí la agresividad interespecífica humana, sólo recordaremos que el hombre se ha convertido en el gran depredador de la biosfera, debido a que su evolución cultural le ha llevado a sofisticar su agresividad interespecífica valiéndose de armas mortíferas que le permiten practicar una depredación masiva, hasta el punto de que ha causado la extinción de muchas especies animales. Como veremos a continuación, también en el caso de

la agresividad intraespecífica, el hombre sobrepasa en violencia y crueldad a todas las demás especies de la biosfera.

La agresión intraespecífica es un fenómeno generalizado en el mundo animal, consustancial con la selección natural en sus dos aspectos: lucha por el alimento y lucha entre machos por la prioridad de apareamiento. El primer aspecto se suele dar en especies relativamente sedentarias que tienen un sentido de la territorialidad. Los machos acotan "su" territorio en el que buscan el alimento tanto ellos como todos los miembros de su grupo. En este caso la agresividad suele consistir en una actitud hostil frente a otros machos intrusos; esta actitud puede conducir a enfrentamientos y a luchas que nunca son cruentas, pues acaban cuando uno de los contendientes huye o hace gestos de sumisión.

El segundo aspecto de la agresividad intraespecífica, que ya fue descrito por Darwin, consiste en las luchas entre los machos de algunas especies para dirimir la prioridad de apareamiento sexual. Esta forma de agresividad es propia de especies gregarias nómadas y no de las que defienden su territorio. Favorece la supervivencia de la especie porque guarda correlación con el cuidado paterno de las crías, tanto en su alimentación como en la defensa frente a otras familias o clanes, y es posible que sea el origen evolucionario de la rivalidad entre clanes de una misma especie. Este tipo de agresividad existe en los primates gregarios, como babuinos, gorilas y chimpancés, y es muy probable que la tuvieran también los prehomínidos como los australopitécidos. En todas estas especies hay un control de la hostilidad intraespecífica de forma que la agresión nunca llega a ser cruenta, porque, como hemos dicho, uno de los contendientes huye o hace gestos de sumisión que apaciguan al vencedor.

Cabe preguntarse, pues, cómo y cuándo surgió la agresividad intraespecífica cruenta que caracteriza a *Homo sapiens* y que no se limita a la actitud hostil de defensa que presentan la mayoría de los primates, sino que entraña acometividad y violencia. Yo haría coincidir el comienzo de la agresividad humana con el de la evolución cultural, hace aproximadamente unos dos millones de años, cuando *Homo habilis* fabricó sus primeros utensilios, en principio "con vistas" (ya había premeditación) a la obtención y preparación del alimento, pero que luego se fueron convirtiendo en armas para la agresión interespecífica (caza de animales cada vez mayores). A medida que aumentaba la eficacia de tales armas, y por tanto se disponía de mayor cantidad de alimento, se va produciendo un incremento en la densidad de población, con lo que se fue acentuando la violencia de la agresividad intraespecífica. Tal vez ésta haya sido la causa de la expansión de *Homo erectus* por todo el Viejo Continente siguiendo una conducta gregaria nómada. Pero llega una época en que el hombre tiende al sedentarismo, se produce la ocupación de las cavernas y se establecen campamentos, lo que conduce a una organización social con las consiguientes normas de convivencia y distribución de las tareas

de la comunidad. Con ello nace en el hombre, hasta entonces nómada, el sentido de territorialidad y, sobre todo, el sentido de identidad de cada individuo como integrante de "su" comunidad. No es extraño, pues, que surjan fricciones y conflictos entre poblaciones o tribus colindantes, que al principio consistirían sólo en una actitud hostil puramente defensiva, pero que luego fue dando paso (tal vez coincidiendo con períodos de escasez) a una agresión premeditada en forma de luchas fronterizas, con el saqueo de los poblados y con la muerte de los vencidos, que a veces eran objeto de canibalismo, más que para satisfacer el hambre, como parte de ritos simbólicos, como sucedió con los neandertales (STEBBINS [39]). Lo cierto es que a medida que progresa la evolución cultural, impulsada por el creciente desarrollo de las actividades mentales y facilitada por el enriquecimiento del lenguaje simbólico, la acometividad intertribal inicial se ha ido "perfecionando" hasta convertirse en la agresividad intraespecífica actual, que cuando es premeditada, planificada y considerada "justa y necesaria" recibe el nombre de guerra, y que ha conducido a la invención de armas mortíferas cada vez más sofisticadas, estableciéndose lo que se ha denominado la carrera armamentística en una especie de espiral ascendente y sin fin, sobre todo en el caso de que dos estados o comunidades tengan aspiraciones coincidentes de hegemonía y dominio. En tales circunstancias se da prioridad a la industria bélica, en menoscabo de todas las demás actividades.

¿Cómo ha llegado el hombre a este grado de violencia grupal y a la guerra organizada, a pesar de la evidente amenaza de extinción que supone para la propia especie?

A mi juicio, una de las respuestas más lógicas se debe a THORPE [41] quien, después de reconocerse incapaz de encontrar una respuesta plausible, descarta como causas de la agresividad intraespecífica la superpoblación, la falta de espacio, la escasez de alimento, basándose en ejemplos históricos en los que no existe correlación alguna causa-efecto. Tampoco la atribuye a los hábitos cazadores, pues los esquimales, siendo cazadores son muy pacíficos. Este autor hace una distinción entre la violencia individual y la violencia organizada de la guerra moderna, dice que "las gentes que hacen la guerra no suelen ser violentas, ni tampoco proceden de grupos violentos (p.e. Corea, Vietnam y el Medio Oriente) pero optan por someterse a las privaciones, terrores y horrores que la guerra entraña, triste y obligadamente porque han sido persuadidos de que si no lo hacen los males serán peores. De ahí que los persuasores, los Führers, los líderes y los demagogos influyan no sólo sobre la gente llana sino, a veces, también sobre los intelectuales, convenciéndoles de que existe cierto tipo de gloria en la guerra. Puede ser que estos líderes sí sean personalmente agresivos. Pero ¿cómo pueden persuadir a personas no violentas, no agresivas, pacíficas, de que la guerra es algo glorioso? Lo malo de la violencia de grupo y la guerra en las sociedades humanas es que no hay ninguna restricción inherente y efectiva".

Ante el razonamiento de Thorpe, la interrogante que queda en el aire es ¿Por qué la violencia intraespecífica del hombre no responde a los gestos de sumisión de los vencidos? Se han propuesto varias interpretaciones. STEBBINS [39], por ejemplo, distingue entre violencia individual y guerra, atribuyendo la primera (propia de francotiradores, destripadores, estranguladores, etc.) a psicopatías o a lesiones cerebrales, pues en muchos casos se ha demostrado que estos agresores violentos padecen tumores cerebrales; en cambio, en el caso de la guerra, especialmente cuando se emplean armas de largo alcance (artillería, bombardeos, etc.), el agresor no responde a los gestos de sumisión porque no ve el rostro de la víctima. Pero, esta explicación no es aplicable a los combates cuerpo a cuerpo ni tampoco a las luchas a muerte entre gladiadores.

En mi opinión, la respuesta más acertada es la de LORENZ [26], quien basándose en sus extensos y minuciosos estudios sobre el comportamiento agresivo de diversas aves y mamíferos, tanto en su hábitat natural como en cautividad, y tras hacer una comparación entre herbívoros y fieras y entre palomas y rapaces, encuentra una explicación plausible tanto por su lógica como por su sencillez. Su tesis es la siguiente: los animales herbívoros, al no poseer órganos especializados para la depredación, sostienen luchas que no son lesivas y que acaban con la huída del perdedor, pero si éste no puede huir (por estar en cautividad), entonces el vencedor actúa sin ningún freno, a picotazos o mordiscos, hasta acabar con la vida del vencido; en cambio, los mamíferos carniceros y las aves rapaces, que están dotados de "armas" mortíferas para su actividad depredadora (agresividad interespecífica) presentan una agresividad intraespecífica que por lo general es totalmente incruenta, aún cuando los contendientes estén en cautividad y, por tanto, el vencido no pueda huir, pues en este caso el perdedor hace un gesto de sumisión que bloquea automáticamente la posible violencia del vencedor; por ejemplo, en una lucha entre perros o entre lobos la actitud de sumisión consiste en que el vencido presenta su garganta indefensa al vencedor; pero éste, que momentos antes le habría hincado sus muelas carniceras, es ahora, ante este gesto de sumisión, incapaz de matar a su adversario. Como señala DELGADO [9], esta inhibición de la crueldad esta gobernada por el sistema límbico, que alcanza un extraordinario desarrollo tanto en aves como en mamíferos y que al estar, por otra parte, muy ligado, al cuidado de la prole, desencadena mecanismos inhibidores de la agresión no sólo ante los gestos de sumisión, sino también los rasgos infantiles y juveniles.

Esta conducta es perfectamente congruente, pues si estas inhibiciones no operasen, las luchas intraespecíficas acabarían siempre con la muerte de uno de los contendientes, con el consiguiente riesgo para la pervivencia de la especie. Este comportamiento es el resultado de un largo proceso evolutivo perfectamente compensado, de forma que a la par que las especies depredadoras van desarrollando órganos para su agresión interespecífica, su

conducta se va haciendo dependiente de una serie de inhibiciones innatas e instintivas que evitan que un animal use indiscriminadamente sus armas contra individuos de su propia especie en las luchas que sostienen defendiendo un territorio o dirimiendo la posesión de las hembras. En estas luchas incruentas no es tan sorprendente la inhibición del vencedor (que es incapaz de morder la garganta del vencido), como la confianza del vencido en la eficacia de su gesto de sumisión.

Paradójicamente, *Homo sapiens*, a pesar de que dispone de armas incomparablemente más mortíferas que las de las fieras, y que además es consciente de las consecuencias de una agresividad intraespecífica cruenta, rara vez atiende a la solicitud de misericordia del vencido. Su agresividad intraespecífica no está sujeta a la inhibición por el gesto sumiso y suplicante del vencido. Lejos de ello, se ha dedicado a la fabricación de armas cada vez más eficaces destinadas no sólo a la depredación sino también a la aniquilación de sus congéneres, convirtiéndose así en la única especie potencialmente capaz de ocasionar su propia extinción.

¿A qué se debe esta singularidad de la especie humana? Según LORENZ [26], es consecuencia de un desajuste entre la evolución orgánica y la evolución cultural, que él razona magistralmente diciendo que "sólo existe un único ser que posee armas que no han crecido en su cuerpo, y de cuyo funcionamiento los instintos no saben nada y que, por tanto, no están sujetas a la adecuada inhibición. Este ser es el hombre, cuyas armas son cada vez más monstruosas, hasta el punto de que en unas pocas décadas ha preparado un arsenal, capaz de destruir el planeta". E insiste: "nos diferenciamos de los animales en que no hemos recibido nuestras armas de la naturaleza sino que las construimos nosotros mismos por nuestra libre voluntad. Si estas armas nos hubiesen salido en nuestro cuerpo como resultado de un proceso evolutivo, los correspondientes impulsos e inhibiciones necesitarían para su desarrollo un tiempo que los geólogos y los paleontólogos están acostubrados a manejar, pero no los historiadores."

Ante este alarmante desequilibrio entre la evolución orgánica y la cultural, esperemos que la mente responda acertadamente y que valiéndose del lenguaje dirija la evolución cultural hacia la instauración en la especie humana de los mecanismos de inhibición de su agresión, que no le han sido dados por la Naturaleza, pero que son imprescindibles para evitar su autodestrucción.

**AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, deseo expresar aquí mi profunda gratitud a la Academia Canaria de Ciencias y en especial a su digno Presidente, el **Prof. Nácere Hayek Calil**, y a su Vicesecretario, el **Prof. Angel Gutiérrez Navarro**, quienes han intervenido de forma muy importante en dos decisiones de la Academia que me llenan de satisfacción y de orgullo: la invitación a dar la Conferencia inaugural del curso 1992/93 y el nombramiento de Académico Correspondiente.

Asimismo deseo hacer constar mi sincero agradecimiento a los siguientes compañeros de la Facultad de Biología de Sevilla, que, desde sus respectivas especialidades me han prestado una ayuda muy valiosa y absolutamente imprescindible dado el carácter multidisciplinar del tema tratado: a **Josep Casadesús Pursals** y **Antonio Marín Rodríguez**, del Departamento de Genética, por sus acertadas críticas y orientaciones en aspectos genéticos y antropológicos, respectivamente; a **Rosario Pásaro Dionisio**, del Departamento de Biología y Fisiología Animal, por sus consejos sobre fuentes bibliográficas y sobre terminología relacionadas con Neurofisiología; a **José Mª Delgado García**, del mismo departamento, por sus orientaciones sobre la estructura y función del sistema límbico; a **Francisco Gil Martínez**, del Departamento de Fisiología Vegetal, y a su hijo, **Francisco Gil Iriarte,** estudiante de la Facultad de Informática, por la inestimable colaboración que ambos me han prestado en el procesado de este texto y en general en el allanamiento de los escollos informáticos con los que tropiezo con gran frecuencia; a **Concepción Fedriani Iriso** y **Javier Ollero Márquez**, de mi mismo Departamento de Microbiología, por su crítica constructiva y por haberme facilitado libros de sus respectivas bibliotecas privadas; al personal de la Biblioteca de la Facultad,especialmente a **María Roldán Muñoz** y **Rafael Solís Avila**, por la paciencia y amabilidad con que me han dispensado su eficaz colaboración en la utilización de los fondos de la biblioteca.

Y por último, pero no por ello es menor mi gratitud, a mi hija, **Mª del Carmen Pérez Hurtado de Mendoza**, estudiante de la Facultad de Bellas Artes, por su colaboración en la preparación de las ilustraciones.

1.- BAER, A.S, HAZEN, W.E., JAMESON, D.L. y SLOAN, W.C. (1976), *Conceptos básicos de biología.* Editorial Alhambra, Madrid.

2.- BAR-YOSEF, O. y WANDERMEERSCH, B. (1993). El hombre moderno de oriente medio. Investigación y Ciencia, 201: 66 -73;

3.- BEALS, R.L. y HOIJER, H. (1974), *Introducción a la antropología.* Editorial Aguilar, Madrid.

4.- BERGH, S. van den y HESSER, J.E. (1993). Así se formó la Vía Láctea. Investigación y Ciencia, 198: 12 - 19;

5.- BOOTH, W. (1989). Monitoring the fate of the forests from Space. Science, 243: 1428 - 1429.

6.- CRICK, F. y KOCH, C. (1992). El problema de la consciencia. Investigación y Ciencia, 194: 114 - 122.

7.- DAMASIO, A.R. y DAMASIO, H. (1992) El cerebro y el lenguaje. Investigación y Ciencia, 194: 58 - 66.

8.- DELBRÜCK, M. (1989), *Mente y materia. Ensayo de epistemología evolutiva.* Alianza Editorial, Madrid.

9.- DELGADO-GARCÍA, J.M. (1992). Sistema límbico. **En** *Fisiología humana.* **J.A.P. TRESGUERRES,** pp. 200 -220. Interamericana, Madrid.

10.- DOBZHANSKY, T. (1969), *Evolución humana.* Ediciones de la Universidad de Chile.

11.- ECCLES, J. (1993). El misterio de ser humano. La Nueva Revista, 28: 43 - 65.

12.- ERICKSON, J. (1991), *La extinción de las especies. Evolución, causas y efectos.* McGraw-Hill, Madrid.

13.- FISCHBACH, G. D. (1992). Mente y Cerebro. Investigación y Ciencia, 194: 6 - 15.

14.- FREEDMAN, W.L. (1993). Velocidad de expansión y tamaño del Universo. Investigación y Ciencia, 196: 12 - 19.

15.- GOULD, S. J. (1983), *El pulgar del panda.* Editorial Blume, Barcelona.

16.- GREENBERG, J.H. y RUHLEN, M. (1993). Origen de las lenguas americanas autóctonas. Investigación y Ciencia, 196: 54 - 60.

17.- HICKMAN, F.M. y otros. (1987), *Zoología, Principios integrales.* Interamericana, Madrid.

18.- JACOB, F. (1977). Evolution and Tinkering. Science, 196: 1161-1166.

19.- JAHN, I. LOTHER, R. y SENGLAUB, K. (1989), *Historia de la Biología.* Labor, Barcelona.

20.- KANDEL, E.R. y HAWKINS, R.D. (1992). Bases biológicas del aprendizaje y de la individualidad Investigación y Ciencia, 194: 48 - 57.

21.- KING, M. and WILSON, A. C. (1984). Evolution in two levels in humans and chimpanzees. Science, 188: 107 - 116.

22.- KOENIGSWALD, G.H.R. von (1984), *Historia del hombre.* Alianza Editorial, Madrid.

23.- LEVINTON, J.S. (1993). La edad de oro de la evolución animal. Investigación y Ciencia, 196: 44 - 52;

24.- LEWIN, R. (1986). A mass Extinction without asteroids. Science, 234: 14-15.

25.- LEWIN, R. (1986). Damage to tropical forests, or Why were there so many kinds of animals? Science, 234: 149 - 150.

26.- LORENZ, K. Z. (1976), *King Solomon's Ring*. Harper & Row, Publishers, Londres.

27.- LORENZ, K. Z. (1989), *Estoy aquí....¿Dónde estás tú?* Plaza y Janes Editores, S.A., Barcelona

28.- MACLEAN, P.D. (1987), Triune Brain. **En** *Encyclopedia of Neuroscience*, vol. II, pág. 1235 - 1237. Ed. G. Adelman. Birkhäuser, Boston.

29.- MARGULIS, L. y SCHWARTZ, K.V. (1982), *Five Kingdoms: An illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*. W.H. Freeman, San Francisco.

30.- MONOD, J. (1971), *El azar y la necesidad*. Barral Editores, Barcelona.

31.- NAVARRO MEDEROS, J.F. (1992), *Los Gomeros. Una prehistoria insular*. **I. Estudios prehispánicos**. Serie editada por la Dirección General de Patrimonio Histórico. Gobierno de Canarias.

32.- ORGEL, L.E. (1985), *Los orígenes de la vida*. Alianza Editorial, Madrid.

33.- ORO, J. (1984). La evolución química y el origen de la vida a los cien años de la muerte de Darwin. **En** *Darwin a Barcelona*, pág. 83 -137. Editado por la Universidad de Barcelona.

34.- PILBEAM, D. (1984). Origen de hominoideos y hominidos. Ivestigación y Ciencia, 92: 48 - 58.

35.- PINES, M. (1985), *Los manipuladores del cerebro*. Alianza editorial, Madrid.

36.- RENFREW, C. (1994). Diversidad lingüística del mundo. Investigación y Ciencia, 210: 14 - 20.

37.- REPETTO, R. (1990). Deforestación en los trópicos. Investigación y Ciencia, 165: 10 - 17.

38.- SHATZ, C. J. (1992). Desarrollo cerebral. Investigación y Ciencia, 194: 16 - 24.

39.- STEBBINS, G. L. (1982), *Darwin to DNA. Molecules to Humanity*. W.H. Freeman, San Francisco.

40.- TEMPLADO, J. (1974), *Historia de las teorías evolucionistas*. Editorial Alhambra, Madrid.

41.- THORPE, W. H. (1980), *Naturaleza animal y naturaleza humana*. Alianza Editorial, Madrid.

42.- WILSON, E. (1980), *Sociobiología. La nueva síntesis*. Editorial Omega, S.A., Barcelona.

43.- WILSON, E. (1989). Threats to Biodiversity. Scientific American, 261: 108 - 116.

44.- YOUNG, J. Z. (1976), *Antropología física. Introducción al estudio del hombre*. Vicens, Barcelona.

# VIDA ACADEMICA

Las actividades de la Academia Canaria de Ciencias comenzaron con la ceremonia de apertura del curso académico que tuvo lugar el día 4 de Febrero de 1994 en el Salón de Actos de la Real Sociedad Económica de Amigos del País de Tenerife, amablemente cedido por su Director al que, una vez más, dejamos constancia de nuestro agradecimiento por su colaboración.

Presidió el acto el Excmo. Sr. Presidente Dr. D. Nácere Hayek, acompañado de diversas autoridades universitarias, Directores de Colegios Profesionales y Presidentes de otras Corporaciones. Tras la lectura por el Ilmo. Sr. Secretario Dr. D. José Bretón Funes de un avance de la Memoria correspondiente al año 1993, el Excmo. Sr. D. Amable Liñán Martínez, Catedrático de la Universidad Politécnica de Madrid y Premio Príncipe de Asturias de Investigación, pronunció la conferencia inaugural titulada " Modelización y análisis de los procesos de combustión ", la cual fué seguida de un intenso e interesante coloquio.

Aparte de la lección reseñada, los Ilmos. Sres. D. Agustín Arévalo Medina, Miembro Numerario de esta Academia, y D. Luis Angel Cordero Rego, Catedrático de la Universidad de Santiago de Compostela y Miembro de la Academia Galega de Ciencias, impartieron sendas conferencias tituladas " La síntesis del diamante, desarrollo histórico desde el punto de vista de la Química-Física " y " Algunos aspectos de la geometría de foliaciones " en los días 30 de Junio y 10 de Octubre de 1994, respectivamente.

La Academia también intervino durante el período que se comen-

ta, en un Seminario sobre " Ecosistemas marinoes tropicales y subtropicales. Conservación y recursos ", organizado por el Departamento de Biología Vegetal ( Botánica ) de la Facultad de Biología de la Universidad de La Laguna, constituído por siete conferencias que fueron dictadas por profesores de las Universidades de La Habana, La Laguna, Madrid y México.

En este mismo concepto, la Academia colaboró en un Curso sobre " Aplicaciones industriales de los microorganismos ", organizado por el Departamento de Microbiología y Biología Celular de la Universidad de La Laguna, cuya conferencia inaugural fué pronunciada por el Profesor Dr. D. Oleg Milstein de la Universidad de Göttingen ( Alemania Federal ). Intervinieron también en el referido curso otros Profesores de la Universidad de La Laguna.

Asímismo, la Academia participó en la organización de un Curso de especialización sobre " Perspectivas en el estudio de helechos ", cuyo desarrollo tendrá lugar en los primeros meses del año próximo y que estará a cargo de profesores de Universidad de distintos países, de varias Universidades españolas y de la Universidad de La Laguna.

La Junta de Gobierno de la Academia se reunió dos veces en este año; entre otros acuerdos, se tomó la decisión de proponer ( 15 de Diciembre de 1994 ) a la General, el nombramiento de Académicos Correspondientes, en atención a los relevantes méritos que en ellos concurren y previo los trámites estatutarios pertinentes, a los Ilmos. Sres. Dres. D. Amable Liñán Martínez y D. Luis Angel Cordero Rego.

La Junta General Ordinaria se reunió una sóla vez en este año, conforme a lo preceptuado. De lo allí tratado conviene reseñar la constante preocupación, pese a las gestiones que se siguen realizando, por la falta de un lugar propio digno como sede de la Academia. Asímismo, se pusieron de manifiesto otras gestiones realizadas ( vía el Instituto de España en el Ministerio de Justicia ) para que nos sea facilitada alguna persona que coadyuve a las labores burocráticas de la Academia y que hasta el momento no han dado el resultado apetecido.

Ha aparecido el volumen V de la Revista de la Academia Canaria de Ciencias, que sigue manteniendo su alta calidad. Consta de tres fascículos correspondientes a las disciplinas de Matemáticas, Biología y un tercero a las de Física y Química. Ya se haya parcialmente repartido.

El Premio de la Academia correspondiente al año 1993 ( Matemáticas ) fué concedido, por decisión unánime del Jurado nombrado al efecto, al Profesor Dr. D. Luis Angel Cordero Rego de la Universidad de Santiago de Compostela, que ya hemos citado con anterioridad. Fué asímismo oportunamente convocado el Premio correspondiente al año 1994, relativo a la disciplina de Biología.

## NORMAS PARA LA REDACCION Y ENVIO DE ORIGINALES

### 1. GENERALES

1.1. La *Revista de la Academia Canaria de Ciencias* publica artículos de investigación que sean inéditos, sobre temas de Matemáticas, Física, Química y Biología. La Revista acepta también trabajos sobre " Historia y Filosofía de la Ciencia ", especialmente referidos a las materias citadas, si bien en esta Sección sólo aparecerá un máximo de dos trabajos en cada uno de los números que se publiquen.

1.2. Dado que la Revista utiliza el sistema offset de edición, empleando como original el que facilitan los autores, se aconseja a éstos el máximo cuidado en su confección, usando una máquina eléctrica con cinta plástica negra o cualquier sistema de tratamiento de texto con impresora láser, sobre papel blanco de buena calidad tamaño DIN A-4.

1.3. El texto de cada trabajo, redactado en español o en inglés (o bien en cualquier otro idioma a juicio del Comité Editorial), no deberá exceder de 16 páginas, aunque se recomienda una extensión de 6 a 10 páginas como promedio. El límite máximo para los destinados a la Sección de Historia y Filosofía de la Ciencia es el de 25 páginas. Se entienden, tanto en un caso como en el otro, incluídas Notas, Bibliografía y Tablas.

1.4. El envío de cualquier original (cuyas hojas deberán ser numeradas *con lápiz* en el margen superior izquierdo), ha de ir acompañado de una copia, y se dirigirá a:

Director-Editor Profesor N. Hayek
Revista de la Academia Canaria de Ciencias
Facultad de Matemáticas
Universidad de La Laguna
Tenerife, Islas Canarias (España)

### 2. PRESENTACION DEL TRABAJO

2.1. La caja o espacio ocupado por el texto en cada página, ha de tener unas dimensiones de 17 cm de ancho por 25 cm de largo, dejando márgenes de 2 cm a cada lado y a 2 cm del borde superior de la página.

2.2. Se escribirá a doble espacio entre líneas.

2.3. La *página de introducción* debe comenzarse a 5 cm del borde superior de la misma y ha de incluir los siguientes datos: Título del trabajo (en letras mayúsculas centrado); Autor (inicial del nombre y apellido del autor, y lo mismo caso de ser varios los autores); Centro donde se ha realizado, con dirección postal; Abstract en inglés (con una extensión máxima de 150 palabras) y Resumen en español (con tope de igual extensión); Key words o Palabras clave.

2.4. El comienzo de los párrafos tendrá una sangría de cinco espacios.

2.5. Los encabezamientos de cada sección (INTRODUCCION, PARTE EXPERIMENTAL, RESULTADOS, DISCUSION, etc ...) numerados correlativamente, serán escritos con letras MAYUSCULAS sin subrayado y centrado en el texto. Los encabezamientos de subapartados o subsecciones, numerados en la forma 1.1, 1.2, ..., 2.1, 2.2, ..., se escribirán con letras minúsculas subrayadas al margen izquierdo.

2.6. Las notas o llamadas, escritas con letra más pequeña(*) y con un espacio entre líneas, figurarán a pié de página, precedidas de un indicativo, por ejemplo, (*), (**), etc ...

2.7. Las referencias bibliográficas, intercaladas en el texto, contendrán los nombres de sus autores seguidos de un corchete de la forma [ ], en el que figurará el número correspondiente de la Bibliografía; por ejemplo, G. CANTERO [23] ó sólo apellido, CANTERO [23]. A veces (y esto se deja a criterio del autor), el texto quizás requiera poner simplemente sólo el número de la bibliografía, o sea [23], sin citar autor.

2.8. Las Tablas han de numerarse con números romanos. Las figuras y dibujos (en tinta china) o fotografías (en blanco y negro y papel brillante) deberán ser numeradas consecutivamente y con números arábigos. Los Apéndices (si los hay), se incluirán al final del texto, antes de la Bibliografía.

2.9. BIBLIOGRAFIA: Toda la bibliografía debe ser escrita por orden alfabético de apellidos (por ejemplo, DAVIS, E.G.; GONZALEZ, E. Y PEREZ, J.; MANRIQUE, S.; ...). Las referencias bibliográficas de *artículos* deberán contener: autor (en mayúsculas), año de publicación, revista, volumen y páginas; por ejemplo, WATSON, G.N. (1948), J. Diff. Geom., 3, 141-149. En caso de *libros* ha de incluirse: autor (en mayúsculas), año de publicación, título (a ser posible, en cursivas o itálicas), editorial y lugar de publicación; por ejemplo, ELLIS, A.J. and MAHON, W.A.J. (1977), *Chemistry and Geothermal Systems*, Academic Press, London.

2.10. AGRADECIMIENTOS: centrado y texto a un espacio.

2.11. Se recomienda a los autores que tengan en cuenta los Reglamentos Internacionales de Nomenclatura para cada materia de las citadas en el apartado 1.1, así como los usos internacionales referentes a símbolos, unidades y abreviaturas.

3. NOTAS FINALES

3.1. Los artículos serán sometidos a estudio por el Comité Editorial el cual, asesorado por expertos, decidirá si procede o nó a su publicación, o bien propondrá a los autores que hagan las modificaciones convenientes.

3.2. Por cada trabajo publicado, se entregarán al autor o autores, un total de 30 separatas.

3.3. El texto, incluídas figuras, tablas, diagramas, etc ..., de un trabajo publicado en la *Revista de la Academia Canaria de Ciencias* no podrá ser reproducido sin permiso de la *Academia Canaria de Ciencias*.

Nácere Hayek

Director-Editor

---

(*) Por ejemplo, Courier de paso 12.

# INSTRUCTIONS TO AUTHORS

## 1. GENERALS

1.1. The *Revista de la Academia Canaria de Ciencias* publishes unedited research works in Mathematics, Physics, Chemistry and Biology themes. The Journal also accepts papers about "History and Philosophy of the Science", specially referred to the aforementioned subjects, though this Section will not publish more than two works in each number.

1.2. The Journal makes use of offset edition system, employing like original the one sent by the author; it is advised to write up the articles with too much care, using electric typewriter with black plastic ribbon or whatever text processing system with laser printing on good quality white paper at DIN A-4 size.

1.3. The text of each paper, written either in Spanish or English language or whatever one, allowed by Editor Committee, will have no more than sixteen pages, though it is recommended not to exceed six to ten pages. The limit of pages for the History and Philosophy of the Sciences Section is twenty-five ones.In both cases this includes Notes, Bibliography and Tables.

1.4. The sending of all originals (which pages have to be numbered with pencil on the left upper corner), should be enclosed with a copy and be sent to:

Director-Editor Profesor N. Hayek
Revista de la Academia Canaria de Ciencias
Facultad de Matemáticas
Universidad de La Laguna
Tenerife, Canary Islands (Spain)

## 2. PRESENTATION OF THE WORK

2.1. The text layout in each page, has to have the following dimensions: 17 cm in width, 25 cm in length, 2 cm in each margin and 2 cm from the upper edge.

2.2. It will be written in double-spaced.

2.3. The introduction page has to begin 5 cm from the upper edge with the following information: Tittle (centered capital letters); Author (first name initials and surname, the same in the case of several authors); Institution where it was maked with postal address; Abstract written in English (at most 150 words) and a Spanish Summary (with the same extension); Key words.

2.4. Each paragraph will have a 5 spaces indentation.

2.5. The correctly numbered headlines of each Section (INTRODUCTION, EXPERIMENTAL PART, RESULTS, DISCUSSION, etc, ...) should be written in CAPITALS not underlined and centered. The subheadings and subsections headlines, numbered like 1.1, 1.2, ..., 2.1, 2.2, ..., will be written in underlined lower-case letters at the left margin.

2.6. The annotates, written in smaller letters(*) and one space between lines, will appear at foot of the page, preceded by an indicative, for

(*) For example, Courier 12.

example, (*), (**), etc.

2.7. The bibliography cross-references in the text, will contain the authors names and surnames followed by brackets like this [ ], with its respective number; for example G. CANTERO [23] or only the surname CANTERO [23]. It is possible, if the text requires it and the author desires it, to write only the number without the author name like [23].

2.8. The Tables have to be numbered in Roman numbers. The figures and drawings (in black ink) or photographs (in shining black and white paper) have to be consecutive numbered in Arabic. The Appendixes (if they were) will be included at the end of the text, before Bibliography.

2.9. BIBLIOGRAPHY: Bibliography has to be written in surname alphabetic order (for example, DAVIS, E. G.; GONZALEZ, E. and MANRIQUE, S.; ...). The articles bibliographic references have to contain: author (in capitals), publication year, Journal, volume and pages; for example, WATSON, G. N. (1948), J. Diff. Geom., 3, 141-149. When it is in books, it has to contain: Author (in capitals), publication year, Tittle (in Italics if it is possible),publishing house and publication place; for example, ELLIS, A. J. and MAHON, W. A. J. (1977), *Chemistry and Geothermal Systems*, Academic Press, London.

2.10. ACKNOWLEDGEMENTS: centered and one-spaced.

2.11. It is recommended the authors followed Nomenclature International Rules for each aforementioned subject in 1.1, as well as the international uses relative to symbols, units and abbreviations.

3. FINAL NOTES

3.1. The articles will be submitted for consideration by Editor Committee that, advised by referees, will decide if the publication proceeds or not, or it will be proposed the author for making appropriate modifications.

3.2. The author (or authors) receive a total of 30 free reprints.

3.3. Working texts, included figures, tables, diagrams, etc., published in *Revista de la Academia Canaria de Ciencias* must not be reproduced without Academia Canaria de Ciencias license.

Nácere Hayek

Director-Editor

# REVISTA DE LA ACADEMIA CANARIA DE CIENCIAS

**Folia Canariensis Academiae Scientiarum**

Volumen VI - Núms. 2-3-4 (1994)


## INDICE


Págs.

PRESENTACION . . . . . 5

*SECCION FISICA*

M. GONZALEZ-DIAZ y P. RODRIGUEZ-HERNANDEZ. Propiedades electrónicas y estructurales del *GaAs* y el *ZnSe*. . . . . 9

*SECCION QUIMICA*

H. KRUSE, M. BURKE. Research on working fluids for refrigeration, air-conditioning, and heat pump systems. . . . 25

*SECCION BIOLOGIA*

M.P. AREVALO, A. ARIAS, C. RODRIGUEZ, A. SIERRA. Estudio higiénico-sanitario de aguas de playa del sur de Tenerife 49

M. SANTAMARIA, J. CORZO, M.A. LEON-BARRIOS y A.M. GUTIERREZ-NAVARRO.Efecto de la conservación de las muestras sobre el comportamiento serológico de diferentes estirpes de *Bradyrhizobium (Chamecytisus)* . . . . . 55

M. BARONE, F. SIVERIO y D. TRUJILLO. Sobre la distribución y el habitat del Búho Chico *Asio otus canariensis* (Madarasz, 1901) en la isla de La Palma, Canarias (Aves: Strigidae) . . . . . 65

F. LA ROCHE y J.C. RODRIGUEZ-PIÑERO. Aproximación al número de taxones de la flora vascular silvestre de los archipiélagos macaronésicos. . . . . 77

*SECCION HISTORIA Y FILOSOFIA DE LA CIENCIA*

M. VAZQUEZ. La idea de la vida extraterrestre a lo largo de la historia . . . . . 101

J.A. BELMONTE, C. ESTEBAN, A. APARICIO, A. TEJERA GASPAR and O. GONZALEZ. Canarian Astronomy before the conquest: the pre-hispanic calendar. . . . . 133

JULIO PEREZ SILVA. Enigmas de la evolución humana. . . . 157

*VIDA ACADEMICA*

Actividades. . . . . 193

NORMAS PARA LA REDACCION Y ENVIO DE ORIGINALES . . . . . 197

INSTRUCTIONS TO AUTHORS. . . . . 199

# INDICE


Págs.

PRESENTACION . . . . . 5

*SECCION FISICA*

M. GONZALEZ-DIAZ y P. RODRIGUEZ-HERNANDEZ. Propiedades electrónicas y estructurales del *GaAs* y el *ZnSe*. . . . . 9

*SECCION QUIMICA*

H. KRUSE, M. BURKE. Research on working fluids for refrigeration, air-conditioning, and heat pump systems. . . . 25

*SECCION BIOLOGIA*

M.P. AREVALO, A. ARIAS, C. RODRIGUEZ, A. SIERRA. Estudio higiénico-sanitario de aguas de playa del sur de Tenerife 49

M. SANTAMARIA, J. CORZO, M.A. LEON-BARRIOS y A.M. GUTIERREZ-NAVARRO.Efecto de la conservación de las muestras sobre el comportamiento serológico de diferentes estirpes de *Bradyrhizobium (Chamecytisus)* . . . . . 55

M. BARONE, F. SIVERIO y D. TRUJILLO. Sobre la distribución y el habitat del Búho Chico *Asio otus canariensis* (Madarasz, 1901) en la isla de La Palma, Canarias (Aves: Strigidae) . . . . . 65

F. LA ROCHE y J.C. RODRIGUEZ-PIÑERO. Aproximación al número de taxones de la flora vascular silvestre de los archipiélagos macaronésicos. . . . . 77

*SECCION HISTORIA Y FILOSOFIA DE LA CIENCIA*

M. VAZQUEZ. La idea de la vida extraterrestre a lo largo de la historia . . . . . 101

J.A. BELMONTE, C. ESTEBAN, A. APARICIO, A. TEJERA GASPAR and O. GONZALEZ. Canarian Astronomy before the conquest: the pre-hispanic calendar. . . . . 133

JULIO PEREZ SILVA. Enigmas de la evolución humana. . . . 157

*VIDA ACADEMICA*

Actividades. . . . . 193

NORMAS PARA LA REDACCION Y ENVIO DE ORIGINALES . . . . . 197

INSTRUCTIONS TO AUTHORS. . . . . 199