

REVISTA DE LA ACADEMIA COLOMBIANA de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

LA ACADEMIA ES ÓRGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXVI

JUNIO DE 2002

NÚMERO 99

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DÍAZ-PIEDRAHITA



CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
Botánica (Botany)		(Biographic synthesis of Antoine Rouhaire (Brother Nicolás María).	
- Morfología del androceo, tapete y estructura del polen de <i>Siparuna aspera</i> (Ruiz & Pavón) A. DC. (Siparunaceae). (Androecium morphology, tapetum and pollen structure of <i>Siparuna aspera</i> (Ruiz & Pavón) A. DC. [Siparunaceae]).		<i>Gilberto Rodríguez</i>	229
<i>María Angélica Bello, Fabio González & Gloria Romero de Pérez</i>	155	- Cien años de historia de la matemática en Colombia (1848 -1948). (A century of Mathematical History in Colombia).	
Ciencias de la Tierra (Earth Sciences).		<i>Clara Helena Sánchez Botero</i>	239
- Granulitas de los Mangos, un fragmento Greenvilliano en la parte oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. (Los Mangos Granulites, a Greenvillean phragment in the eastern basement of Sierra Nevada de Santa Marta)		Matemáticas (Mathematics)	
<i>Gonzalo Ordóñez, Mauricio Pimentel & Renato de Moraes</i>	169	- Algunos problemas de preservación lineal sobre los espacios de matrices simétricas, antisimétricas y hermitianas. (Symmetric matrices, skewsymmetric matrices and Hermitian matrices. Some linear preserver problems)	
Epidemiología (Epidemiology)		<i>Humberto Sarría Zapata</i>	261
- Polimorfismo genético del MHC y su asociación con la infección HTLV-II. (Genetical polymorphism of MHC and its incidence in HTLV-II infection).		Química (Chemistry).	
<i>Eduardo Egea</i>	181	- El carbón y su problemática ambiental. (Coal and his environment problematics)	
Física (Physics)		<i>José M. Rincón</i>	271
- Luz, materia y el nanomundo. (Light, particles and nanoscience)		- Determinación del peso molecular de asfaltos. (Asphaltenes: molecular weight).	
<i>Ángela S. Comacho</i>	197	<i>Carmen María Romero & Alberto Gómez</i>	279
- Magnetoresistencia colosal en manganitas del tipo La _{1-x} DxMnO ₃ con D=Ba/Ca. (Colossal magnetoresistance in manganites of La _{1-x} DxMnO ₃ con D=Ba, Ca).		Zoología (Zoology)	
<i>R. Iruémez, A. Mariño & H. Sánchez</i>	207	- <i>Dilocarcinus laevifrons</i> Moreira, 1901: a complete description. (<i>Dilocarcinus laevifrons</i> Moreira, 1901: una descripción completa).	
Historia de la Ciencia (History of Science).		<i>Martha R. Campos</i>	285
- Semblanza biográfica de Federico Carlos Lehmann Valencia. (Biographic synthesis of Federico Carlos Lehmann Valencia).		- A new species of the genus <i>Osteocephalus</i> (Hylidae: Anura) from the western Amazon. (Una especie nueva de <i>Osteocephalus</i> [Hylidae: Anura] del Amazonas occidental)	
<i>Lelivnava Londoño Díaz</i>	213	<i>John D. Lynch</i>	289
- El naturalista Antoine Rouhaire (Hermano Nicolás María) y el desarrollo de la zoología sistemática en Colombia.		Vida académica (Academic Life)	293
		Constitución de la Academia (Members of the Academy)	307

MORFOLOGÍA DEL ANDROCEO, TAPETE Y ULTRAESTRUCTURA DEL POLEN DE *SIPARUNA ASPERA* (RUIZ & PAVÓN) A. DC. (SIPARUNACEAE)

por

María Angélica Bello¹, Favio González¹ & Gloria Romero de Pérez¹

Resumen

Bello M. A., F. González & G. Romero de Pérez: Morfología del androceo, tapete y ultraestructura del polen de *Siparuna aspera* (Ruiz & Pavón) A. DC. (Siparunaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 26(99): 155-167. ISSN 0370-3908.

Las flores estaminadas, el androceo y el polen de *Siparuna aspera* (Siparunaceae) fueron estudiadas mediante el uso de microscopía de luz y electrónica. Se encontró por primera vez la presencia en *Siparuna* de estambres en tres verticilos, cada uno formado por dos estambres opuestos; los tres verticilos son decusados; a la vez, se detectó una estructura en el centro de la flor que parece ser un estilo vestigial. Se describe por primera vez la histología del tapete en *Siparuna*, el cual es secretor. El polen de la especie estudiada es globoso, inaperturado, y con exina diferenciada en sexina y nexina. La sexina posee un tectum ondulado, continuo, granular y delgado, y columnelas globoso-cónicas cuyos ápices atraviesan el tectum y forman una escultura equinada. La nexina es continua y se diferencia en una capa basal lamelar y una endexina granular. La intina es continua y con borde interno irregular. Todos estos caracteres sustentan una relación filogenética estrecha con *Glossocalyx*, sugerida también por datos moleculares. Debido a la ausencia de información y al conflicto en la interpretación de los caracteres florales y palinológicos de Siparunaceae y las familias relacionadas Atherospermataceae, Gomortegaceae, Hernandiaceae y Monimiaceae, se requieren más estudios detallados de la ontogenia floral, la ultraestructura del polen y la filogenia en estas familias, a fin de inferir la evolución de dichos caracteres, tan variables y extremos en el orden Laurales.

Palabras clave: Anteras, embriología, morfología, polen, ultraestructura; angiospermas basales, Laurales, *Siparuna*, Siparunaceae.

Abstract

Staminate flowers, androecium and pollen of *Siparuna aspera* (Siparunaceae) were examined by using light and electron-microscopy techniques. The presence of three decussate whorls of 2 stamens in *Siparuna*, each whorl with 2 opposite stamens is reported for the first time. A structure in the floral centre was also found that could correspond to a vestigial style. The tapetum of *Siparuna* is here reported for the first time as being secretory. Pollen of *S. aspera* is globose and inaperturate. The exine is differentiated into sexine and nexine; the sexine is formed by an undulate, continuous, granulose, thin tectum, and by globose-conical columellae; the tips of the latter project through the tectum and form the echinulate sculpture of the grain. The nexine is continuous and differentiated into a lamellar foot layer and a granulose endexine. The intine is also continuous and its inner border is irregular. All these features reinforce the close phylogenetic relationship between *Siparuna* and *Glossocalyx* shown also by molecular data. Floral and palynological characters are extremely variable and conflicting within order Laurales, including Siparunaceae, Atherospermataceae, Gomortegaceae, Hernandiaceae and Monimiaceae. Therefore, more floral ontogenetic, pollen ultrastructure, and phylogenetic studies of these families are necessary in order to get a better approach on the evolution of such characters in order Laurales.

Key words: Anthers, embryology, morphology, pollen, ultrastructure; Laurales, basal Angiosperms, *Siparuna*, Siparunaceae.

Introducción

Siparuna Aubl. es un género de aproximadamente 72 especies de arbustos y árboles aromáticos, por lo general dioicos, distribuido desde México y Las Antillas hasta Paraguay y Argentina. Tradicionalmente, *Siparuna* ha sido incluido en las Monimiaceae, aunque la extrema diversificación morfológica de esta familia ha sido la base para segregarla en varias familias diferentes (véase p. ej. Money *et al.* 1950; Schodde, 1970; Endress, 1972). Las Monimiaceae *s. l.* forman parte del orden Laurales, un grupo de angiospermas basales con relaciones filogenéticas ambiguas (Schodde, 1970; Hufford, 1996; Renner & Hausner, 1997; Renner *et al.* 1997; Renner, 1998). La variación de la morfología floral en el orden Laurales es muy amplia (Endress, 1990, 1994). También lo es en las Monimiaceae *s. l.* en particular; en esta familia la variación floral ha sido descrita en detalle por varios autores (véase Perkins, 1898; Pichon, 1948; Money *et al.* 1950; Schodde, 1970; Endress, 1980, entre otros). Algunos de los caracteres diagnósticos dentro de la familia tienen que ver con la morfología de las flores estaminadas o de los estambres en particular (Endress, 1996). De hecho, una de las primeras divisiones de la familia en dos subfamilias, las Monimioideae y las Atherospermatoidae, fue establecida por Perkins (1898) con base en la dehiscencia de las anteras. Además de dicho carácter, la construcción de las anteras presenta interesantes variaciones, no sólo en Monimiaceae sino en las Laurales en general (Endress & Stumpf, 1990; Endress, 1996; Hufford, 1996). La presencia o ausencia de apéndices en los filamentos es también utilizado como

diagnóstico a nivel genérico (véase clave en Philipson, 1993).

Análisis filogenéticos basados en datos moleculares de las Monimiaceae *s. l.* sugieren que esta familia es polifilética (Renner *et al.* 1997; Renner, 1998; Renner & Chanderbali, 2000). Como resultado de dichos estudios, el género *Siparuna* ha sido segregado en su propia familia, las Siparunaceae, junto con *Glossocalyx*, género monotípico del trópico occidental de África. A la vez, dichos datos sustentan una relación cercana de las Siparunaceae con las Atherospermataceae y las Gomortegaceae y contradicen la opinión tradicional de que las Siparunaceae "are more closely related to Monimiaceae than to any other lauralean family" (Schodde, 1970:326).

Recientes estudios embriológicos, morfológicos y filogenéticos de las angiospermas basales han detectado la falta de varios datos en grupos tropicales, entre ellos *Siparuna* (Heo & Tobe, 1995; Doyle & Endress, 2000; Furness & Rudall, 2001 a; Furness *et al.* 2002). Llama la atención, en particular, los caracteres que tienen que ver con el tipo de tapete y la microsporigénesis en las especies de este género. Debido a que se ha demostrado la utilidad de estos caracteres en sistemática de varios grupos de angiospermas (véase p. ej. Sastri, 1963; Pacini *et al.* 1985; Le Thomas, 1988; Pacini & Franchi, 1991; Gabarayeva, 1993, 1995; Pacini, 1997; Furness & Rudall, 1998, 1999, 2000, 2001 a, b; Sampson, 2000; González *et al.* 2001; Furness *et al.* 2002), el estudio detallado de éstos puede aportar datos adicionales que ayuden a aclarar las relaciones filogenéticas de las Siparunaceae.

El presente estudio contribuye al conocimiento de la morfología floral, la morfología y ultraestructura polínica y el tipo de tapete en *Siparuna*. El conocimiento de la morfología floral (véase Endress, 1980; Renner *et al.* 1997) y la morfología y ultraestructura del polen (véase Pignal *et al.* 1999) de este género aún es muy limitado, en tanto que el tipo de tapete es desconocido. El estudio de estos caracteres en *Siparuna* puede ser útil para aclarar no solamente las relaciones con respecto a otros miembros del orden Laurales sino también a la evolución de dichos caracteres en las angiospermas basales.

Materiales y métodos

Para el presente estudio fueron colectados botones florales y flores maduras de *Siparuna aspera* (Ruiz & Pavón) A. DC. en zona rural del municipio de La Mesa (Cundinamarca, Colombia). Los ejemplares testigo están depositados en el Herbario Nacional Colombiano (COL), bajo los números *F. González 3834* y *F. González 3835*. Algunas muestras fueron disectadas en campo y varias anteras, en distintos estados de desarrollo, fueron inmediatamente fijadas en glutaraldehído al 2.5% (en solución amortiguadora de Millonig 0.2 M, pH 7.4) por 48 horas. Posteriormente, las muestras fueron lavadas en solución amortiguadora (15 min) y post-fijadas en tetróxido de osmio al 1% (1 h), bajo rotación continua a 4° C. Luego de un último lavado con solución amortiguadora (15 min), el material fue deshidratado en una serie de etanol al 70, 95 y 100% durante 5, 20 y 60 minutos respectivamente y colocado en óxido de propileno (15 min). Se realizó una preimbibición en una mezcla de resina Epón-Araldita (Kit PolyScience) y óxido de propileno 1:1 (1 h) para luego hacer la imbibición en resina (2 h). La polimerización del material se hizo a 60° C durante 48 horas (Laad), seguida de un enfriamiento lento y reposo por 24 horas a temperatura ambiente. Fueron cortadas secciones semifinas (ca. 1-2 µm) y ultrafinas (70 nm) en un ultramicrotomo LBK 4802-A con cuchilla de vidrio. Las secciones semifinas fueron coloreadas con azul de toluidina y fijadas en Entellan (Merck) para ser observadas en un microscopio óptico Nikon con un equipo de microfotografía H3. Las secciones ultrafinas fueron coloreadas con acetato de uranilo y citrato de plomo (Reynolds, 1963) para su observación en un microscopio de transmisión Jeol 100 B.

Las muestras empleadas para observación al microscopio electrónico de barrido (MEB) fueron fijadas en una solución de formalina-etanol-ácido acético (FAA) por 48 horas, luego transferidas a etanol al 70%, disectadas en etanol al 90% y deshidratadas en una serie de etanol:acetona (90% etanol, 30 min; etanol absoluto, 30 min; etanol absoluto;

acetona, 10 min; acetona, 10 min). Posteriormente, las muestras fueron secadas con CO₂ líquido en un CPD Blazer 020, recubiertas con oro-paladio en un equipo Hummer 6.2 y examinadas y fotografiadas en un microscopio Jeol JSM T-300. Los dibujos fueron hechos mediante una cámara lúcida en un estereoscopio Leica MZ7.5.

Resultados

Morfología floral

Siparuna aspera es una especie dioica. Las flores estaminadas se encuentran en inflorescencias rami- o caulifloras de ca. 4-6 cm largo, cada una hasta con 8 flores. La flor presenta un receptáculo globoso que llega a medir hasta 8-10 mm largo x 7-10 mm diámetro en post-antesis; por encima del receptáculo, las flores tienen un velo o techo floral, con una abertura pequeña u ostiolo en la parte central (Fig. 1A), lo cual es típico en

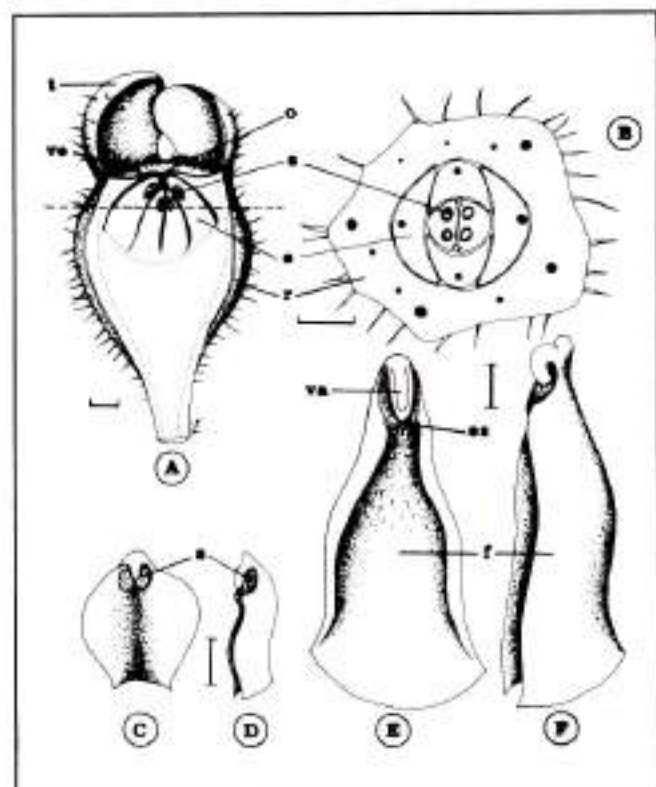


Figura 1. *Siparuna aspera*. A-B, Flor estaminada en corte longitudinal (A) y transversal (B) a la altura de la línea marcada en A, que indica la disposición de las anteras dentro del receptáculo floral. C-D, Estambres en preantesis. C, Vista adaxial; D, Vista lateral. E-F, Estambres en antesis. E, Vista adaxial; F, Vista lateral. e= estambre; es= estomio; f= filamento; o= ostiolo; r= receptáculo; s= saco polínico; t= tépalo; va= valva; ve= velo o techo floral. Escalas= 1 mm.

Siparuna. Los tépalos son cuatro, oblongo-triangu-lares y de 5-8 mm x 4-6 mm en anthesis (Fig. 1A). En el interior del receptáculo se presentan seis estambres en tres verticilos (uno externo, uno intermedio y uno interno) de dos estambres cada uno; los estambres de cada par se encuentran opuestos entre sí y se disponen de forma decusada (Figs. 1 A, B, 2B-D, F-H). Los verticilos de estambres se desarrollan en dirección centripeta (Fig. 2 A-D, F-H). Durante la anthesis, solamente los estambres de los verticilos externo y medio sobresalen a través del ostiolo; los dos estambres internos permanecen en el

interior del receptáculo o sobresalen muy levemente en estado de post-anthesis. Hacia el ápice floral se alcanza a formar una estructura que parece corresponder a un estilo vestigial (Fig. 2A).

Los estambres de *Siparuna aspera* son laminares, anchos y están formados en su mayor parte por filamento-conectivo (Figs. 1 C-F, 2 E-I), en cuyo parénquima se encuentran dispersos algunos idioblastos con aceites esenciales (Fig. 3 A). Cada antera tiene dos tecas uniesporangias (Figs. 1 B, 3 A) ya que los sacos polínicos ventrales

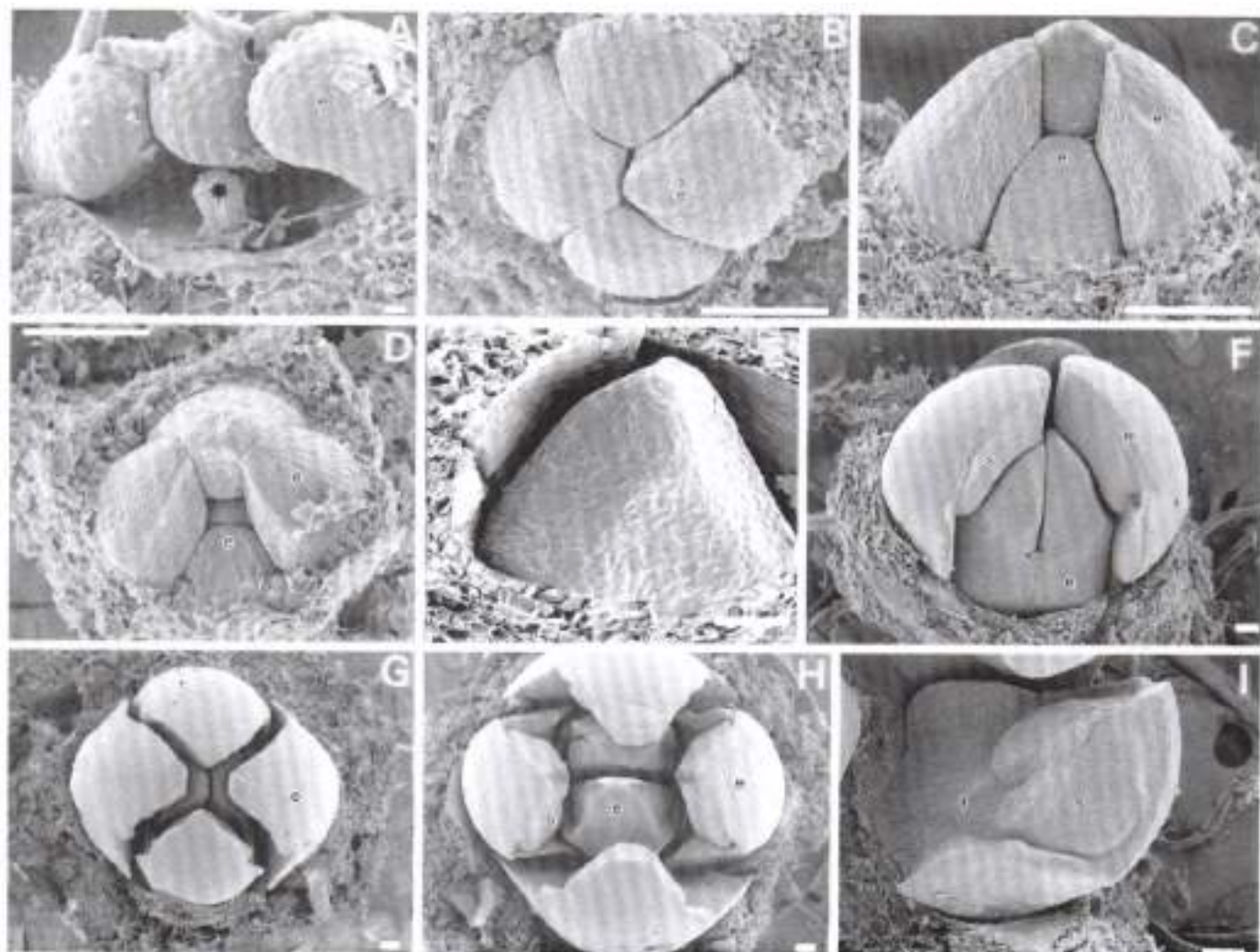


Figura 2. *Siparuna aspera*, desarrollo de la flor estaminada; el receptáculo ha sido removido (imágenes al MEB). A. Botón floral en corte longitudinal, con tres primordios de estambres y un posible estilo vestigial (*). B. Estambres externos y medios, vista superior. C-D. Tres verticilos de estambres, un estambre externo removido, vista lateral (C) y superior (D). E. Primordio estaminal antes de la formación de los sacos polínicos, vista lateral. F. Tres verticilos de estambres diferenciados en filamento y sacos polínicos, un estambre externo removido, vista lateral. G-H. Tres verticilos de estambres diferenciados en filamento y sacos polínicos, vista superior. I. Estambre diferenciado, vista superior. c= estambre; f= filamento; s= saco polínico. Escalas: 50 µm en A-E; 100 µm en F, I; 500 µm en G, H.

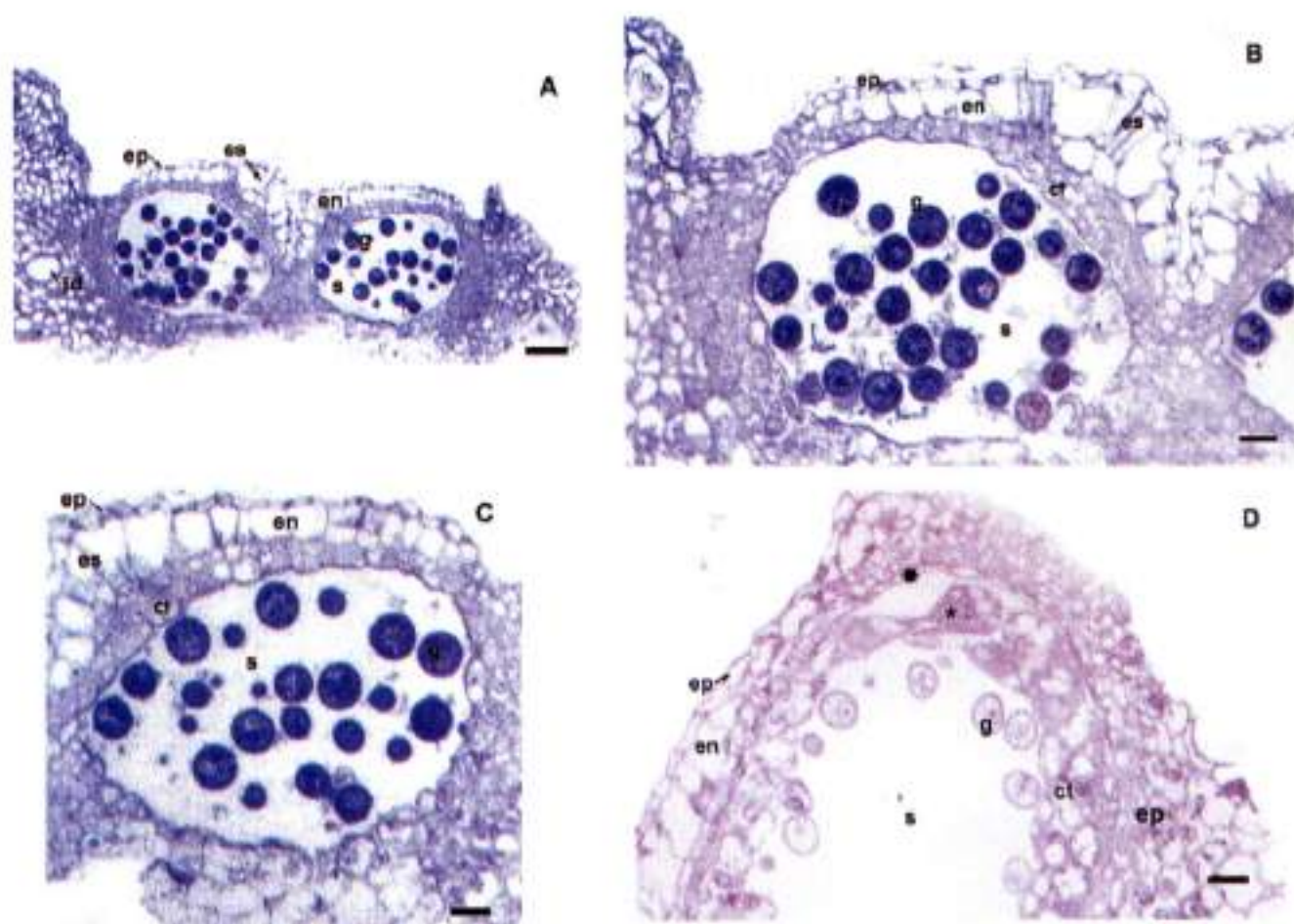


Figura 3. *Siparuna aspera* (imágenes al ML). **A.** Sección transversal de una antera joven a nivel de los sacos polínicos. **B-C.** Detalles de un saco polínico joven. **D.** Corte longitudinal de un saco polínico maduro. ct = células del tapete; ep = epidermis; en = endotecio; es = estomio; g = grano de polen; id = idioblasto; s = saco polínico; * célula binucleada del tapete; * capa intermedia. Escalas: 4.5 μ m en A; 1.8 μ m en B; 16 μ m en C; y 20 μ m en D.

de cada teca están suprimidos. Los sacos polínicos se forman en la parte adaxial y apical del estambre (Fig. 2 I); las anteras son introrsas (Figs. 1 A, C-F, 2 F-I). La dehiscencia es valvada, pero hay una única valva para los dos sacos polínicos (Fig. 1 C-F). La valva cuelga apicalmente luego de la dehiscencia, dejando un único estomio para la liberación del polen. En el momento de la dehiscencia, los estambres sobrepasan el techo floral y se hacen visibles desde el exterior a través del ostíolo.

Anatomía de la antera

Existe solamente un haz vascular por estambre, el cual es visible a lo largo del filamento, pero no llega a la altura de los sacos polínicos (Fig. 1 B). La pared de la antera

consta de epidermis, endotecio, una capa "intermedia" y un tapete (Figs. 3, 4 A). La epidermis es uniestratificada, persistente y está formada por células aplanadas tangencialmente (Fig. 3). Inmediatamente por debajo de esta capa se encuentra un endotecio ubicado únicamente en la zona adaxial de los sacos polínicos, el cual es fibroso y uniestratificado en casi toda su extensión (Fig. 3), aunque hacia el ápice de los sacos polínicos tiende a estratificarse hasta en cinco capas; la capa externa del endotecio es elongada radialmente y presenta paredes anticlinales particularmente engrosadas a lo largo del estomio (Fig. 3 A-C). La parte basal de cada saco polínico posee su propio endotecio, pero hacia la parte apical se forma una sola capa que recorre de forma continua la zona

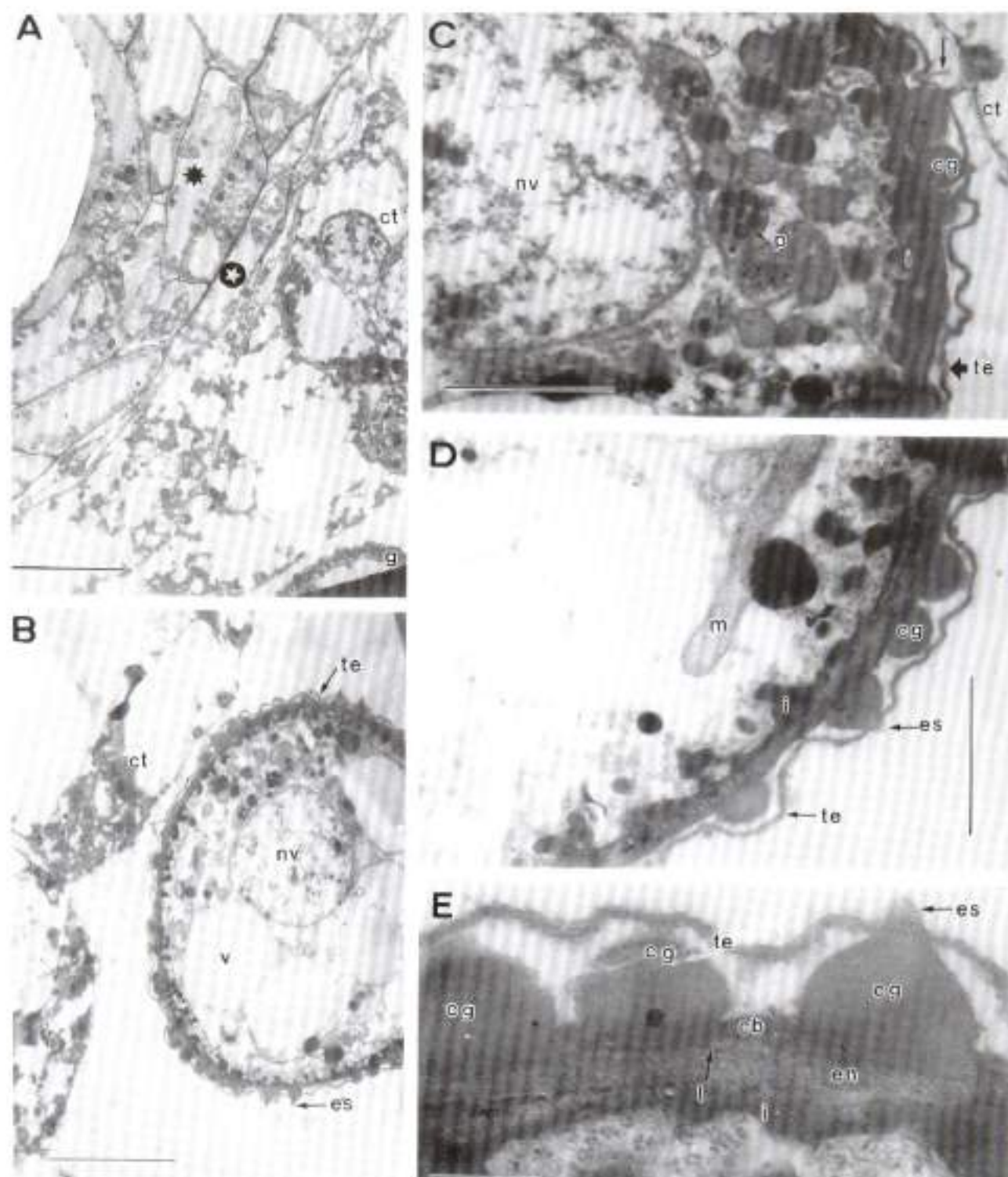


Figura 4. *Siparuna aspera* (imágenes al MET). **A.** Sección transversal de la pared de la antera, a nivel del endotecio (*), capa intermedia (O), tapete (ct) y polen maduro (g). **B.** Detalle de células tapéticas (ct) y de un grano de polen (g). **C.** Sección del polen a nivel del núcleo vegetativo; la flecha superior indica un filamento aislado. **D.** Sección de la pared del polen. **E.** Detalle de la pared del polen; cb = capa basal; cg = columnela globular; ct = célula del tapete; es = espina supratéctal; i = intina; l = lamela; m = mitocondria; nv = núcleo vegetativo; p = plastidio; te = tectum; v = vacuola. Escalas: 8 μ m en A; 5 μ m en B; 3 μ m en C; 2 μ m en D; y 0.5 μ m en E.

adaxial de los dos sacos polínicos (Fig. 3 A-C). En la parte interna de cada saco hay una capa "intermedia", uni- o biestratificada, es comprimida y está formada por células efímeras, fusiformes (Figs. 3D, 4A); a diferencia del endotecio, la capa intermedia rodea completamente al saco polínico.

El tapete en angiospermas es una capa de células localizada entre el endotecio y el tejido esporógeno, que funciona como fuente de nutrientes durante el desarrollo del polen, así como de precursores de la exina, y de lípidos y proteínas que acompañan a la exina; además, parece que desempeña funciones importantes en la dispersión (Pacini & Franchi, 1993; Hesse, *et al.* 1993; Pacini, 1997) y la pigmentación (Beerhues *et al.* 1993) del polen. Existen tres tipos fundamentales de tapete: el secretor, también llamado glandular o parietal, en el cual permanece una capa de células tapéticas más o menos intacta alrededor del lóculo, la cual se degrada en estados relativamente tardíos del desarrollo del saco polínico; el plasmodial o ameboide, en el cual las paredes de las células tapéticas se degradan y se forma un plasmodio multinucleado luego de la fusión de los protoplastos; y el invasivo, no-sincítico, en el cual las paredes de las células tapéticas se desintegran y los protoplastos invaden el lóculo de la antera sin fusionarse en un plasmodio único (Pacini *et al.* 1985; Furness & Rudall, 2001 a, b). De acuerdo a esta clasificación, el tapete en *Siparuna aspera* es secretor (también llamado glandular o parietal) y está constituido por una capa irregularmente uni- o biestratificada (Figs. 3, 4 A-B), con células usualmente binucleadas (Fig. 3 D). Cuando los granos de polen ya se han formado e individualizado, el tapete se ha degradado casi por completo (Fig. 3 D).

Ultraestructura del polen

El polen de *Siparuna aspera* se presenta en mónadas globosas, inaperturadas, equinadas, y de ca. 16-17.5 μm de diámetro (Figs. 3, 4 A, B).

La exina está diferenciada en sexina y nexina. La sexina posee dos capas: un tectum ondulado, continuo, granular y delgado, con un espesor de 50-120 nm (Fig. 4 B-E); y una capa formada por columnelas con un espesor de 740-800 nm, cuyos extremos distales se proyectan a manera de espinas a través del tectum, por lo cual el polen adquiere la escultura equinada característica (Fig. 4); las columnelas son discretas y poseen un cuerpo globoso de 570-600 nm de espesor (Fig. 4 B-E). Adicionalmente, la parte externa del tectum presenta unas pocas estructuras diminutas a manera de filamentos y espinas aisladas (Fig. 4 C) hasta de 720-730 nm. En los sitios de intrusión del

tectum, la parte interna de éste alcanza a entrar en contacto con la capa basal de la nexina (Fig. 4 C-D).

La nexina está diferenciada en capa basal (foot layer) y endexina. La capa basal es continua, delgada, posee un espesor de 75-100 nm, y está dispuesta inmediatamente por debajo de las columnelas (Fig. 4 E). La parte interna de la capa basal es laminar pero con una electrodensidad bastante similar a la de la parte externa; algunas de estas láminas penetran la endexina (Fig. 4 E). La endexina, con un espesor de 120-220 nm, se ubica inmediatamente por debajo de la capa basal, es continua, granular y presenta una electrodensidad menor a la de las demás capas de la exina (Fig. 4 E).

La intina está compuesta por una capa de alta electrodensidad, cuyo borde interno es bastante irregular, ya que presenta prolongaciones que invaden el citoplasma polínico. El espesor de la intina varía de 126-620 nm (Fig. 4 C-E).

El citoplasma de los granos de polen es altamente vacuolizado. Además, tiene plastidios con reservas electrodensas, las cuales pueden corresponder a inclusiones lipídicas (Fig. 4 C). Se observan mitocondrias de distintos tamaños, a las cuales se adhieren cuerpos conspicuamente electrodensos (Fig. 4 D). Hacia la periferia del citoplasma se encuentran agrupaciones de retículo endoplásmico, asociado con numerosos ribosomas, en el límite con la capa intrusiva de la intina.

Discusión

Nuestras observaciones de las flores estaminadas de *Siparuna aspera* corroboran las características morfológicas señaladas por Renner *et al.* (1997) para *Siparuna* en general, y que pueden ser sinapomorfias del clado *Glossocalyx* + *Siparuna*. Estas son: velo o techo floral, estambres sin apéndices (varios miembros del orden Laurales presentan apéndices en la base del filamento; Tabla 1; la homología de éstos, sin embargo, no es clara; cf. Sampson, 1969), y anteras di-esporangiadas, dehiscentes por medio de una única valva. Este último carácter requiere confirmación en *Glossocalyx*, ya que Perkins (1925, citado por Endress & Hufford, 1989), menciona la presencia de dos valvas por antera.

La construcción floral especializada en *Siparuna* y *Glossocalyx*, que consiste en la presencia de un receptáculo cupuliforme o urceolado que encierra parcial- o completamente los verticilos sexuales, es un indicio adicional de una relación filogenética cercana entre estos dos géneros. Sin embargo, este mismo tipo de receptáculo se presenta en

Tabla 1. Comparación de los caracteres relacionados con la expresión sexual, la morfología floral, el androceo, el tapete y el polen de varios miembros del orden Laurales. *Se seleccionaron *Hortonia*, endémico de Sri Lanka, y *Peumia*, endémico de Chile, debido a que estos géneros han sido considerados basales dentro de las Monimiaceae s. l. (Johri et al. 1992) o como ramas basales dentro de las Monimiaceae s. str. (Renner et al. 1997; Renner & Chanderbali, 2000); sin embargo la posición basal de éstos en Renner (1998) es incierta.

Taxon	<i>Siparuna</i>	<i>Glossocalyx</i>	Gomortegaceae	Alchorismatiaceae	<i>Hortonia</i> *	<i>Peumia</i> *	<i>Hypocladia</i>	<i>Herrundia</i>	<i>Gyrocarpus</i>
Sexualidad de la planta o de la flor	Dióicas (algunas spp. monóicas pero con flores unisexuales)	Dióicas	Flores bisexuales	Polígamo-monoicas o dióicas Flores bisexuales (<i>Dagphorandra</i> , <i>Doryphora</i> , <i>Dryobalanops</i> y <i>Nemauron</i>) o unisexuales (<i>Atherosperma</i> y <i>Lamrelia</i>)	Flores bisexuales	Dióicas	Flores unisexuales	Monoicas Flores unisexuales	Flores bisexuales
Tecno floral	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	?	?	?
No. de piezas del perianto	4-6 (7)	Irregular	5-9 (+10), usualmente 7	Irregular	Irregular	Irregular	3	3-6	4-7
Filotaxis del perianto	Verticilada	Verticilada	Espiralada	Espiralada/verticilada	Espiralada	Verticilada	Verticilada	Verticilada	Verticilada
Estambres	Introrsos	Introrsos	Introrsos los externos, latrosos los medios e internos	Introrsos, latrosos, extrorsos	Extrorsos	Introrsos	Introrsos los externos, extrorsos los internos	Introrsos	Extrorsos
Estambres pedúnculos (transicionales entre perianto y estambres)	Ausentes	?	Presentes	Ausentes	?	?	Ausentes	?	?
Estaminodios internos	Ausentes	?	Presentes	Presentes	Presentes	Presentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Estambres	Sin apéndices	Sin apéndices	Con apéndices, al menos los internos	Con apéndices	Con apéndices	Con apéndices	Con apéndices	Con apéndices	Con apéndices
No. y filotaxis de los estambres	(1-3-9(+70) verticiladas (espiraladas?))	Numerosos, verticilados	7-13 espiralados	2-13 Espiralados/verticilados	?	?	9, verticilados	?	?
Dehiscencia de las anteras	Univalvada	Univalvada	Bivalvada	Bivalvada	Longitudinal	Longitudinal	Bivalvada	Bivalvada	Bivalvada

	2	2	2	2	4	4	4	4	4	2	2
Sacos polínicos											
Tapetum	Secretor	?	?	Plasmoidal (<i>Athanasperma</i>), secretor (<i>Daphnandra</i> , <i>Doryphora</i> , <i>Dryadodactylone</i> y <i>Laurelia</i>)	?	Secretor	?	Plasmoidal	Plasmoidal	Plasmoidal	2
Forma del polen	Globosa	Globosa	Globosa	Globosa a globosa- elipseide	Globosa	Globosa	Globosa	?	Globosa	Globosa	Globosa
Tamaño del polen	< 20 µm	< 20 µm	21-49 µm	21-49 µm	21-49 µm	21-49 µm	21-49 µm	?	90-160 µm	35-45 µm	
Apertura del polen	Inaperturado- omniaperturado	Inaperturado- omniaperturado	Inaperturado	Sulcado	Inaperturado	Inaperturado	Inaperturado	Inaperturado- omniaperturado	Inaperturado- omniaperturado	Inaperturado	
Tectum	Continuo	Continuo	Continuo	Perforado a semiteclado	Continuo	Continuo	Continuo	?	Reducido	?	
Infralectum	Columnelar	Columnelar	Columnelar	Columnelar	?	Intermedio	?	?	Granular	?	
Columnelas	Globosas- cónicas	Globosas- cónicas	Cortas	Capitadas y radialmente alargadas (= procesos radiales = báculos)	?		?			?	
Capa basal (foot layer)	Presente	Presente	Ausente	Presente	?	Ausente	?	?	Presente	?	
Referencia	Este trabajo; Endress, 1980; Philipson, 1993; Pignal <i>et al.</i> 1999	Philipson, 1993; Renner, 1998; Pignal <i>et al.</i> 1999; Doyle & Endress, 2000.	Braziuk, 1959; Muñoz- Pizarro, 1959; Rodríguez <i>et al.</i> 1983; Kubitzki, 1993; Takhajan, 1997; Furness <i>et al.</i> 2002.	Sastri, 1963; Sampson, 1969, 1996; Rodríguez <i>et al.</i> 1983; Johri <i>et al.</i> 1992; Takhajan, 1997; Furness & Rudall, 2001; Furness <i>et al.</i> 2002.	Sampson, 1969; Endress, 1980, 1994; Kubitzki, 1993; Takhajan, 1997; Doyle & Endress, 2000.	Muñoz- Pizarro, 1959; Sampson, 1969; Cronquist, 1981; Rodríguez <i>et al.</i> 1983; Kubitzki, 1993; Doyle & Endress, 2000.	Kubitzki, 1993, Takhajan, 1997; Furness <i>et al.</i> 2002	Cronquist, 1981, Endress, 1990, Johri <i>et al.</i> , 1981, Johri <i>et al.</i> 1992, Kubitzki, 1993; Heo & Tobé, 1995, Takhajan, 1997; Sampson, 2000.	Sastri, 1963; Cronquist, 1981, Johri <i>et al.</i> 1992, Kubitzki, 1993; Heo & Tobé, 1995, Takhajan, 1997; Doyle & Endress, 2000.		

varios géneros de Monimiaceae *s. str.*, tales como *Hennecartia*, *Kibara*, *Tambourissia* y *Wilkiea*, con estados transicionales (flores con receptáculos parcialmente cerrados) en *Hedyocarya*, *Palmeria*, *Steganotheca* y *Tetrasynandra* (véase Perkins, 1898; Money *et al.* 1950; Endress, 1980; Philipson, 1993). A este respecto, llama la atención que la presencia de hiperestigma parece estar restringida a los géneros *Faika*, *Hennecartia*, *Kibara*, *Tambourissia* y *Wilkiea* (Endress, 1980, 1994; Endress & Lorence, 1983), de los cuales los cuatro últimos forman parte de un mismo clado dentro de las Monimiaceae *s. str.* (Renner, 1998); esto permite sugerir que esta condición puede ser una sinapomorfía de estos géneros. Todo lo anterior genera preguntas acerca de si esta construcción floral se ha originado independientemente por lo menos dos veces, una en el clado *Siparuna* + *Glossocalyx*, y otra en Monimiaceae *s. str.* Un análisis filogenético más extenso del orden Laurales, incluyendo datos morfológicos y moleculares, permitirá una mejor inferencia acerca de la evolución de dichos caracteres florales.

La distribución de los estambres en tres verticilos de dos estambres cada uno (Figs. 1 A, B, 2 B-D, F-H) no había sido documentada anteriormente en *Siparuna*, aunque Doyle & Endress (2000) codificaron los estambres de Siparunaceae como verticilados. Es evidente la semejanza entre este carácter y lo que ocurre en algunas especies de *Kibara* (Monimiaceae-Mollinediidae; véanse especialmente las figs. VII A y B en Perkins, 1898). Renner (1997:3) describe los estambres de Siparunaceae como "dispersed irregularly in the floral cup". Por su parte, Philipson (1993:428) y Takhtajan (1997:55) describen los estambres de Monimiaceae *s. l.* como "dispersed over the inner surface of the receptacle, or fewer and sometimes in one or more tetramerous whorls" y Pignal *et al.* (1999:210) como "insérés en spirale". El estudio de la ontogenia floral de otras especies de *Siparuna* con un número mayor de estambres aportará datos adicionales acerca de si los estambres espiralados o "dispersos" son derivados de un plan de organización básico similar al observado en *S. aspera*.

Nuestras observaciones acerca de la morfología de los estambres individuales de *Siparuna aspera* (estambres con dos sacos polínicos cada uno, filamentos laminares, engrosados, poco diferenciados de las anteras, y sin apéndices, endotecio independiente en la base de cada saco polínico pero continuo en la región apical de los sacos, y dehiscencia introrsa, valvada por medio de un único estomio) coinciden con los datos previamente descritos por Endress & Hufford (1989) en *S. nicaraguensis* Hemsl. y por Doyle & Endress (2000) para las Siparunaceae en general. La dehiscencia de las anteras en *Siparuna* es morfológicamente

introrsa, aunque la constricción que sufren las anteras al sobresalir a través del velo o techo floral, puede cambiar la orientación original de las anteras hasta secundariamente latrorsas.

Una comparación de caracteres relacionados con la morfología del androceo y del polen (Tabla 1) sugiere diferencias importantes entre Siparunaceae y Monimiaceae *s. str.* Entre éstos se pueden mencionar la presencia en varios géneros de Monimiaceae *s. str.* (p. ej. *Hortonia* y *Peumus*), de apéndices estaminales, anteras con dehiscencia longitudinal y 4 sacos polínicos cada una, estaminodios internos y polen de tamaño mediano (Tabla 1).

La correlación entre dehiscencia valvada de las anteras y la reducción a dos sacos polínicos por antera (uno por cada teca) en *Siparuna* se presenta también en Atherospermataceae, Gomortegaceae y Hernandiaceae (Endress & Hufford, 1989) y podría aportar información adicional en la exploración de las relaciones entre estas familias. Sin embargo, es de anotar que en Atherospermataceae, Gomortegaceae, Hernandiaceae y quizás en el otro miembro de las Siparunaceae, *Glossocalyx* (Perkins, 1925, citado por Endress & Hufford, 1989), hay dos valvas por antera a diferencia de *Siparuna*, donde hay una sola. Finalmente, la presencia de un saco polínico por teca en distintos clados de las filogenias recientes del orden Laurales (Renner, 1998; Renner *et al.* 1997; Renner & Chanderbali, 2000) hace pensar que este carácter ha evolucionado independientemente por lo menos tres veces, una en el clado *Siparuna* + Atherospermataceae + Gomortegaceae, otra en *Monimia* (Monimiaceae *s. str.*) y otra en varios miembros de las Lauraceae. Estos mismos análisis moleculares cuestionan las opiniones de Money *et al.* (1950) y Schodde (1970) de que la similitud morfológica de los estambres de Atherospermataceae y Siparunaceae se ha originado de forma independiente en ambas familias.

Las anteras con un único saco polínico por teca están frecuentemente correlacionadas con procesos de especialización de biología floral (Endress & Stumpf, 1990). Tal parece ser el caso en *Siparuna*, en donde algunas especies son polinizadas por insectos correspondientes a varios géneros de la familia Cecidomyiidae (Diptera), entre otros; estos insectos usan las flores estaminadas de *Siparuna* como sitio de oviposición (Feil, 1992). Sin embargo, este tipo de polinización al parecer ocurre en otros miembros del orden Laurales, tales como en varias especies de *Tambourissia* (Monimiaceae *s. str.*), cuyos posibles polinizadores son dípteros de las familias Drosophilidae, Lauxaniidae y Syrphidae (Endress & Lorence, 1983).

Renner & Feil (1993) señalaron que los caracteres relacionados con la morfología floral de *Siparuna* y asociada a insectos pequeños no especializados, pueden ser factores importantes en la evolución de plantas dioicas en ecosistemas tropicales. No obstante, parece ser que la condición dioica ha evolucionado independientemente varias veces en Siparunaceae (**Renner & Won**, 2001) e incluso en especies anemófilas de Monimiaceae *s. str.*, como p. ej. *Hedycarya arborea* (**Sampson**, 1977). En nuestro estudio fue común encontrar larvas de insectos (posiblemente dípteros) asociadas al parénquima de los estambres y del receptáculo en *Siparuna aspera*. Esto sugiere que se trata de un síndrome de polinización de común ocurrencia en el género, ya que **Feil** (1992) detectó dicha asociación en otras especies de *Siparuna*.

Se describe por primera vez el tipo de tapete en *Siparuna*, el cual es secretor (también llamado glandular o parietal). Este tipo de tapete es muy común en angiospermas basales (**Johri et al.** 1992; **Furness & Rudall**, 2001 a, b; **González et al.** 2001, entre otros). Sin embargo, otras angiospermas basales presentan tapete plasmodial o aún invasivo. Hay tapete plasmodial en varias monocotiledóneas (algunas Alismatídeas, Araceae y Poaceae; **Furness & Rudall**, 2001 b) y en miembros de los órdenes Laurales (*Atherosperma*, Hernandiaceae y varios géneros de Lauraceae, incluido *Hyphodaphnis*; **Sastri**, 1963; **Heo & Tobe**, 1995; véase revisión en **Furness & Rudall**, 2001 a), Magnoliales (varias Annonaceae incluidas *Annona* y *Polyalthia*; **Bhandari**, 1971) y quizás Winterales (*Pseudowintera*; **Bhandari**, 1963). Tapete invasivo, el menos común de todos, ha sido detectado en *Nymphaea* (Nymphaeaceae), *Anaxagorea* y *Asimina* (Annonaceae; **Gabarayeva**, 1993, 1995), *Tambourissa* (Monimiaceae; véase revisión en **Furness & Rudall**, 2001 a) y *Tasmania* (Winteraceae; **Furness & Rudall**, 2001 a). Por lo tanto, el orden Laurales presenta los tres tipos de tapete, aunque en Monimiaceae, Siparunaceae y la mayoría de Atherospermataceae es glandular. En Hernandiaceae y Lauraceae existe una gran cantidad de casos conocidos de tapete plasmodial. Desafortunadamente, el tipo de tapete es desconocido en Gomortegaceae, *Glossocalyx* y otras especies de *Siparuna*, lo cual impide el uso de este carácter para discutir más en detalle las relaciones filogenéticas de las Siparunaceae. A pesar de esto, la presencia de tapete glandular en Atherospermataceae, *Hedycarya* (Monimiaceae *s. str.*), Calycanthaceae (**Furness & Rudall**, 2001 a), y por lo menos *Siparuna aspera*, hace pensar que se trata de una condición plesiomórfica en estas familias. En tal caso, habría ocurrido una transformación a tapete plasmodial en Hernandiaceae y en muchas Lauraceae, lo cual puede ser evidencia adicional que

sustente una relación de grupos hermanos entre estas dos familias.

Erdtman (1966) y **Schodde** (1970) mencionaron que *Siparuna* tiene granos de polen intectados. Por el contrario, nuestros resultados indican que hay tectum, lo cual coincide con lo observado por **Walker** (1976 a); además, observamos que el tectum es continuo tal como fue descrito por **Pignal et al.** (1999) y **Doyle & Endress** (2000). El tectum continuo dispuesto a manera de *velum* sobre dichas columnelas, parece ser único en *Siparuna* y *Glossocalyx*.

Existe controversia respecto a las demás capas de la esporodermis en Monimiaceae y Siparunaceae. **Walker** (1976b) considera que los cuerpos globosos con procesos apicales equinados (= columnelas granulares *sensu* **Pignal et al.** 1999) presentes en *Siparuna* corresponden a endexina. Cuerpos similares son hallados por lo menos en *Hedycarya* y *Tetrasyandra* (**Sampson**, 1997). No obstante, **Sampson** (1997) considera que dichos cuerpos no corresponden a columnelas, sino a gemas tectales, y que las Monimiaceae australianas estudiadas por él carecen de capa basal y de endexina, a diferencia de otros géneros de Monimiaceae estudiados (**Sampson**, 1996). Nuestra interpretación coincide parcialmente con la de **Pignal et al.** (1999), en cuanto a la zonificación de la esporodermis de *Siparuna* en sexina y nexina. Sin embargo, detectamos que la sexina no está zonificada en tres estratos (tal como lo describen **Pignal et al.**), sino únicamente en dos capas: (a) un tectum continuo (*velum sensu* **Walker**, 1976 b); y (b) una capa de cuerpos globosos que pueden corresponder a columnelas, y que se extienden en un ápice equinado que atraviesa al tectum. Lo anterior deja en claro que se hace necesario un estudio comparativo detallado que incluya un mayor muestreo, a fin de precisar la homología de cada una de las capas mencionadas.

Según lo discutido en el párrafo anterior, es posible que el polen microequinado en *Siparuna* y *Glossocalyx*, no sea estructuralmente comparable con el polen microequinado presente en Gomortegaceae, Lauraceae y miembros de Atherospermataceae y Hernandiaceae subfam. Gyrocarpoideae (**Walker**, 1976b; **Pignal et al.** 1999). De acuerdo a **Kubitzki** (1993) los granos de polen de las Hernandiaceae son más afines a los de Lauraceae que a los de Monimiaceae *s. l.*

Conclusión

Las flores estaminadas de *Siparuna aspera* poseen 6 estambres dispuestos en 3 verticilos (externo, medio e interno), los cuales se desarrollan en dirección centrípe-

ta; los estambres son opuestos y decusados. Se encontró una estructura en el centro de las flores estaminadas, que puede corresponder a un estilo vestigial. La morfología general de los estambres coincide con la observada en otras especies de *Siparuna*. Se describe por primera vez la estructura del tapete en este género, el cual es de tipo glandular.

Los granos de polen de la especie estudiada son globosos, equinados, inaperturados, tectados, y su exina está diferenciada en sexina y nexina. La sexina presenta un tectum ondulado, continuo, granular y delgado, y una capa formada por columnelas globoso-cónicas cuyos ápices atraviesan el tectum y forman una escultura equinada. La nexina es continua y está diferenciada en una capa basal lamelar, y una endexina granular. La intina está compuesta por una capa continua con el borde interno bastante irregular. La coincidencia de estos caracteres con los de otras especies de *Siparuna* previamente estudiadas, y con lo que ocurre en *Glossocalyx*, permiten sugerir que estos caracteres palinológicos sustentan una relación filogenética estrecha entre estos dos géneros.

Debido al conflicto en la interpretación de los caracteres florales y palinológicos de Siparunaceae, Monimiaceae, Atherospermataceae, Gomortegaceae y Hernandiaceae, y a la ausencia de información en varios aspectos (Tabla 1), se hace necesario proseguir con estudios comparativos que incluyan un mayor muestreo a fin de establecer las homologías respectivas y la evolución de estos caracteres dentro del orden Laurales. En particular, se recomienda realizar: (a) estudios en la ontogenia de estructuras tales como el perianto, las anteras, los apéndices estaminales y el androceo en general; (b) estudios de la ultraestructura de la pared de la antera y del polen; y (c) un análisis filogenético amplio de estos grupos empleando caracteres morfológicos.

Literatura citada

- Beerhues, L., M. Rittscher, H. Schöpker, C. Schwerdtfeger & R. Wiermann, 1993. The significance of the anther tapetum in the biochemistry of pollen pigmentation. *Plant Syst. Evol. (Suppl.)* 7: 117-125.
- Bhandari, N.N. 1963. Embryology of *Pseudowintera colorata* - a vesseless dicotyledon. *Phytomorphology* 13: 303-316.
- . 1971. Embryology of the Magnoliales and comments on their relationships. *J. Arnold Arboretum* 52: 1-39, 285-304.
- Brizicki, G.K. 1959. Variability in the floral parts of *Gomortega* (Gomortegaceae). *Willdenowia* 2: 200-207.
- Doyle, J.A. & P.K. Endress, 2000. Morphological phylogenetic analysis of basal angiosperms: comparison and combination with molecular data. *Int. J. Plant Sci.* 161 (Suppl.): S121-S153.
- Endress, P.K. 1972. Zur vergleichenden Entwicklungsmorphologie, Embryologie und Systematik bei Laurales. *Bot. Jahrb. Syst.* 92: 331-428.
- . 1980. Ontogeny, function and evolution of extreme floral constructions in Monimiaceae. *Plant Syst. Evol.* 134: 79-120.
- . 1990. Patterns of floral construction in ontogeny and phylogeny. *Biol. J. Linn. Soc.* 39: 153-175.
- . 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Cambridge Tropical Biology Series, Cambridge, U.K.
- . 1996. Diversity and evolutionary trends in angiosperm anthers. In W.G. D'Arcy & R.C. Keating (eds.), *The anther: form, function and phylogeny*. Cambridge University Press, Cambridge, Pp. 92-110.
- & D.H. Lorence, 1983. Diversity and evolutionary trends in the floral structure of *Tambourissa* (Monimiaceae). *Plant Syst. Evol.* 143: 53-81.
- & L.D. Hufford, 1989. The diversity of stamen structures and dehiscence patterns among Magnoliidae. *Bot. J. Linn. Soc.* 100: 45-85.
- & S. Stumpf, 1990. Non-tetrasporangiate stamens in the angiosperms: structure, systematic distribution and evolutionary aspects. *Bot. Jahrb. Syst.* 112:193-240.
- Erdtman, G. 1966. Pollen morphology and plant taxonomy. I. Angiosperms. New York, Hafner.
- Feil, J.P. 1992. Reproductive ecology of dioecious *Siparuna* (Monimiaceae) in Ecuador - A case of gall midge pollination. *Bot. J. Linn. Soc.* 110:171-203.
- Furness, C.A. & P.J. Rudall, 1998. The tapetum in monocotyledons: structure and systematics. *Bot. Rev.* 64: 201-239.
- & ———. 1999. Microsporogenesis in monocotyledons. *Ann. Bot.* 84: 475-499.
- & ———. 2000. The systematic significance of simultaneous cytokinesis during microsporogenesis in monocotyledons. In K.L. Wilson & D.A. Morrison (eds.), *Monocots: systematics and evolution*. Collingwood: Victoria, Australia, CSIRO Publishing, 189-193.
- & ———. 2001 a. The tapetum in basal angiosperms: early diversity. *Int. J. Plant Sci.* 162: 375-392.
- & ———. 2001 b. Pollen and anther characters in monocot systematics. *Grana* 40: 17-25.
- , ——— & F.B. Sampson, 2002. Evolution of microsporogenesis in angiosperms. *Int. J. Plant Sci.* 163: 235-260.
- Gubarayeva, N. 1993. Sporoderm development in *Asimina triloba* (Annonaceae). II. The developmental events after callose dissolution. *Grana* 32: 210-220.
- . 1995. Pollen wall and tapetum development in *Anaxagorea brevipes* (Annonaceae): sporoderm substructure, cytoskeleton, sporopollenin precursor particles, and the endexine problem. *Rev. Paleobot. Palynol.* 85: 123-152.
- González, F., P.J. Rudall & C. Furness, 2001. Microsporogenesis and systematics of Aristolochiaceae. *Bot. J. Linn. Soc.* 137: 221-242.

- Heo, K. & H. Tobe. 1995. Embryology and relationships of *Gynacarpus* and *Hernandia* (Hernandiaceae). *J. Plant Res.* **108**: 327-341.
- Hesse, M., E. Pacini & M. Willemse (eds.) 1993. The tapetum: cytology, function, biochemistry and evolution. *Plant Syst. Evol.*, Suppl. 7.
- Hufford, L. 1996. The origin and early evolution of angiosperm stamens. In W.G. D'Arcy & R.C. Keating (eds.), *The anther: form, function and phylogeny*. Cambridge University Press, Cambridge, Pp. 58-91.
- Johri, B.M., K.B. Ambegaokar & P.S. Srivastava. 1992. Comparative embryology of angiosperms. Springer-Verlag, Berlin.
- Kubitzki, K. 1993. Gomortegaceae. In K. Kubitzki, J.G. Rohwer & V. Bittrich (eds.), *The families and genera of vascular plants*, 2: 318-320. Springer-Verlag, Berlin.
- Le Thomas, A. 1988. Variation de la région aperturale dans le pollen des Annonaceae. *Taxon* **37**: 644-656.
- Money, L.L., L.W. Bailey & B.G.L. Swamy. 1950. The morphology and relationships of the Monimiaceae. *J. Arnold Arb.* **31**: 362-404.
- Muñoz-Pizarro, C. 1959. Sinopsis de la Flora de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Pacini, E. 1997. Tapetum character states: analytical keys for tapetum types and activities. *Can. J. Bot.* **75**: 1448-1459.
- & G.G. Franchi. 1991. Diversification and evolution of the tapetum. In S. Blackmore & S.H. Barnes (eds.), *Pollen and spores - patterns of diversification*, pp. 301-316. Oxford: Systematics Association, Clarendon Press.
- & ———. 1993. Role of the tapetum in pollen and spore dispersal. *Plant Syst. Evol.* (Suppl.) **7**: 1-11.
- & M. Hesse. 1985. The tapetum: its form, function and possible phylogeny in Embryophyta. *Plant Syst. Evol.* **149**: 155-185.
- Perkins, J.R. 1898. Beiträge zur Kenntnis der Monimiaceae. I. Über die Gliederung der Gattungen der Mollinediaceae. *Bot. Jahrb. Syst.* **25**: 547-577.
- Phillipson, W.R. 1993. Monimiaceae. In K. Kubitzki, J.G. Rohwer & V. Bittrich (eds.), *The families and genera of vascular plants*, 2: 426-437. Springer-Verlag, Berlin.
- Pichon, M. 1948. Les Monimiacées, famille hétérogène. *Bull. Mus. Hist. Nat. Paris*, ser. 2, **20**: 383-384.
- Pignatelli, M., B. Lugardon, J. Jérémie & A. Le Thomas. 1999. Morphologie et ultrastructure du pollen de Siparunaceae (Laurales). *Grana* **38**: 210-217.
- Renner, S.S. 1998. Phylogenetic affinities of Monimiaceae based on cpDNA gene and spacer sequences. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **1**: 61-77.
- & A. Chanderbali. 2000. What is the relationship among Hernandiaceae, Lauraceae, and Monimiaceae, and why is this question so difficult to answer? *Int. J. Plant Sci.* **161** (Suppl.): S109-S119.
- & F. Feil. 1993. Pollinators of tropical dioecious angiosperms. *Amer. J. Bot.* **80**: 1100-1107.
- & G. Hausner. 1997. Siparunaceae. In G. Harling & L. Andersson (eds.), *Flora of Ecuador*, No. 59. Council for Nordic Publications in Botany.
- , A.E. Schwarzbach & L. Lohmann. 1997. Phylogenetic position and floral function of *Siparuna* (Siparunaceae: Laurales). *Int. J. Plant Sci.* **158** (Suppl.): S89-S98.
- & H. Won. 2001. Repeated evolution of dioecy from monoecy in Siparunaceae (Laurales). *Syst. Biol.* **50**: 700-712.
- Reynolds, E.S. 1963. The use of lead citrate at a high pH as an electron opaque stain in electron microscopy. *J. Cell Biol.* **17**: 208-212.
- Rodríguez, R., O. Matthei & M. Quezada. 1983. Flora arborea de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción de Chile, Santiago de Chile.
- Sampson, F.B. 1969. Studies on Monimiaceae. II. Floral morphology of *Laurelia novae-zelandiae* A. Cunn. (subfamily Atherospermatoidae). *New Zealand J. Bot.* **7**: 214-240.
- . 1977. Pollen tetrads of *Hedycarya arborea* J.R. et G. Forst. (Monimiaceae). *Grana* **16**: 61-73.
- . 1996. Pollen morphology and ultrastructure of *Laurelia*, *Laureliopsis* and *Dryadodaphne* (Atherospermataceae [Monimiaceae]). *Grana* **35**: 257-265.
- . 1997. Pollen morphology and ultrastructure of Australian Monimiaceae - *Austrumutthaea*, *Hedycarya*, *Kibara*, *Leviera*, *Steganthera* and *Tetrasyandra*. *Grana* **36**: 135-145.
- . 2000. Pollen diversity in some modern magnoliids. *Int. J. Pl. Sci.* **161** (suppl.): S193-S210.
- Sastri, R.L.N. 1963. Studies in Lauraceae. IV. Comparative embryology and phylogeny. *Ann. Bot. (Lond.)* **27**: 425-433.
- Schodde, R. 1970. Two new suprageneric taxa in the Monimiaceae alliance (Laurales). *Taxon* **19**: 324-328.
- Takhtajan, A. 1997. Diversity and classification of flowering plants. Columbia University Press, New York.
- Walker, J.W. 1976a. Comparative pollen morphology and phylogeny of the Ranalean complex. In C.B. Beck (ed.), *Origin and early evolution of angiosperms*. Columbia University Press, New York. Pp. 241-299.
- . 1976b. Evolutionary significance of the exine in the pollen of primitive angiosperms. In I.K. Ferguson & J. Muller (eds.), *The evolutionary significance of the exine*. Linnean Society Symposium Series No. 1. Academic Press, London, pp. 251-308.

GRANULITAS DE LOS MANGOS, UN FRAGMENTO GRENVIILLIANO EN LA PARTE ORIENTAL DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA

por

Oswaldo Ordóñez Carmona¹, Márcio M. Pimentel², Renato de Moraes³

Resumen

Ordóñez Carmona, O., M. M. Pimentel & R. de Moraes: Granulitas de los mangos, un fragmento grenvilliano en la parte oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26**(99): 169-179. ISSN 0370-3908.

Las Granulitas de Los Mangos conforman el basamento metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta. Es una secuencia bandeada de metamorfitas con predominio de gneises, granulitas y anfibolitas. Algunas de las asociaciones mineralógicas son típicas de la facies granulita, destacándose las de ortopiroxeno-granate-mesopertita, ortoclasa-granate-biotita y clinopiroxeno-cuarzo.

Con el par granate-roca total se obtuvo una edad isocrónica Sm-Nd de 971 ± 8 Ma, interpretada como la edad del metamorfismo de alto grado asociado al evento orogénico Grenville.

Las edades modelo T_{DM} entre 1.47 y 1.92 Ga y los valores $e_{Nd}(T=971 \text{ Ma})$, entre +0.37 y -5.02, sugieren, para los protolitos de las Granulitas de Los Mangos, la presencia de materiales corticales tan antiguos como ~1.9 Ga.

Palabras clave: Facies granulita, Los Mangos, orogenia Grenville, Precámbrico, Sierra Nevada de Santa Marta.

Abstract

The Los Mangos Granulites is the metamorphic basement of the Sierra Nevada de Santa Marta massif. Gneisses, granulites, and amphibolites are the predominant rocks. The orthopyroxene-garnet-mesopertite, orthoclase-garnet-biotite, and clinopyroxene-quartz are the mineral associations of the granulite facies present in this sequence.

¹ Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, AA 1027 Medellín-Colombia, e-mail: oordonez@unalmed.edu.co

² Instituto de Geociencias-Universidad de Brasília-Brasil, CEP 70910-900.

³ Laboratory for Crustal Petrology, Department of Geology, University of Maryland, College Park, MD, USA, 20742.

Sm-Nd isotopic study yield a garnet-whole rock age of 971 ± 8 Ma, interpreted as the high-grade metamorphic age, and associated with the orogenic Grenville event.

The T_{LWR} model ages between 1.47 and 1.92 Ga, and $\epsilon_{\text{Nd}}(T=971 \text{ Ma})$, values between +0.37 to -5.02, suggest the presence of crustal material, and ca. 1.9 Ga age for the protoliths of the Los Mangos Granulites.

Key words: Granulite facies, Los Mangos, Grenville orogeny, Precambrian, Sierra Nevada de Santa Marta.

Introducción

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), localizada en la parte norte de Colombia, es una de las regiones geológicamente más interesantes y complejas de la parte septentrional de Suramérica. Aparece como un sistema montañoso independiente de los Andes, sin embargo, en él se encuentra buena parte de las principales unidades, eventos y estructuras que ocurren a lo largo de toda la región andina colombiana, ésto es: existe un basamento precámbrico, rocas metamórficas y sedimentarias paleozoicas, plutonismo y vulcanismo mesozoico, magmatismo y sedimentación del Cretáceo y Cenozoico. En otras palabras, la historia geológica de esta región registra eventos geológicos cronológicamente sucesivos, siendo el más antiguo de aproximadamente 1400 Ma, representado por parte del basamento metamórfico.

En este trabajo, se presentan los resultados petrográficos, isotópicos y geocronológicos de las denominadas Granulitas de Los Mangos, las que pueden ser consideradas como parte del basamento del sector oriental de la SNSM.

Contexto regional

La Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), es una región montañosa de aproximadamente 13.700 km² con alturas que van desde el nivel del mar hasta casi los 5.800 m. Esta entidad estructural está limitada por sistemas de fallas y cuencas rellenas con sedimentos de edad Terciaria-Cuaternaria. El Mar Caribe y la falla de Oca limitan el macizo en su parte norte, la falla de Bucaramanga forma el límite suroccidental y el lineamiento del Cesar junto a los Valles de los ríos Cesar y Ranchería constituyen el límite suroriental (Fig. 1).

Según González *et al.* (1988), la SNSM y las regiones adyacentes son un complejo mosaico estructural, resultado de procesos de subducción a lo largo del lineamiento arqueado de Sevilla y de un fallamiento transcurrente asociado al sistema este-oeste de Oca y al sistema de rumbo

N15°W, de la falla de Bucaramanga, en los bordes norte y oeste del macizo.

Los estudios geológicos realizados en esta región y que involucran trabajo de campo, petrografía y geocronología, se limitan a los efectuados por MacDonald & Hurley (1969), Tschanz *et al.* (1969, 1974) y Restrepo *et al.* (1997), trabajos que serán las referencias base para este artículo.

Geotectónicamente, la SNSM se divide, de oriente a occidente, en tres provincias (Tschanz *et al.* 1969, 1974):

- Sierra Nevada
- Sevilla
- Santa Marta

Estas tres provincias tienen un basamento metamórfico el cual fue intruido por plutonitas Meso y Cenozoicas, rocas que en su conjunto constituyen más del 90% del macizo.

La provincia de la Sierra Nevada, localizada en la región suroriental, es la mayor y tiene como característica la presencia de un basamento granulítico, de edad Precámbrica, intruido por inmensos cuerpos de granitoides durante el Mesozoico. Está limitada al sureste por los valles de los ríos Cesar y Ranchería y por el lineamiento del Cesar, que separa a la provincia de la Serranía de Perijá; su límite noroeste está representado por la falla o lineamiento de Sevilla, el cual la separa de la provincia de Sevilla, al norte la falla de Oca la separa de las zonas planas de la Península de la Guajira y al suroeste la falla de Bucaramanga la separa de las zonas planas del valle del Magdalena.

La provincia de Sevilla, localizada al oeste de la falla del mismo nombre, se caracteriza por presentar un cinturón polimetamórfico de gneises máficos de posible edad Paleozoica Inferior, esquistos del Jurásico y pequeños bloques alóctonos de granulitas precámbricas (Tschanz *et al.* 1974). Esta provincia está intruida por cuerpos dioríticos del Pérmico y granitoides Meso y Cenozoicos.

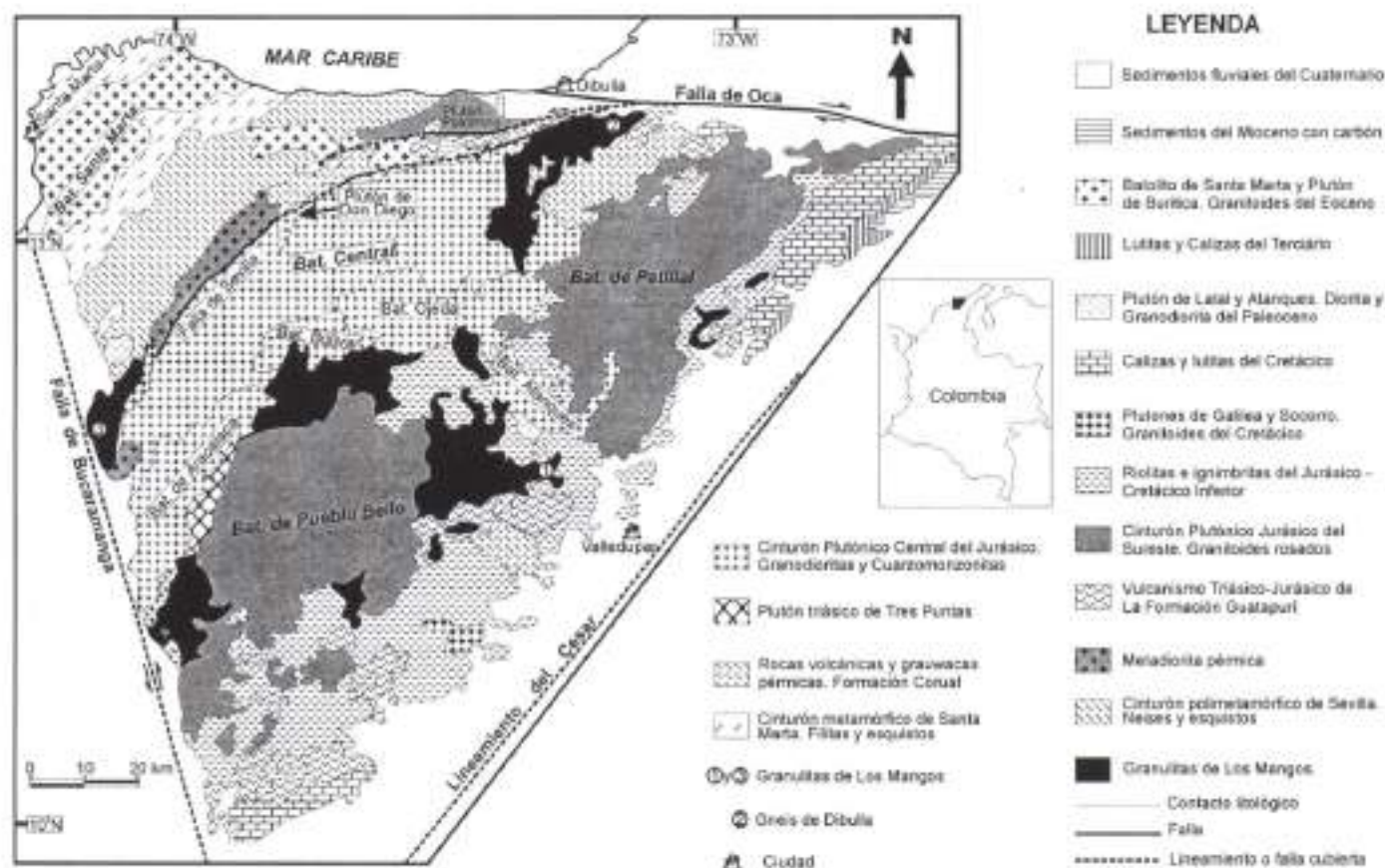


Figura 1. Mapa geológico simplificado de La Sierra Nevada de Santa Marta (modificado de Tschanz et al., 1969, 1974)

La provincia de Santa Marta, localizada en la parte noroeste del macizo, limita al sureste con el cinturón metamórfico de Sevilla, al norte y occidente con el Mar Caribe y al suroeste con la falla de Bucaramanga. Está conformada por el batolito del mismo nombre, de edad Terciaria y orientado en dirección noreste, y por dos franjas paralelas predominantemente constituidas por esquistos.

Rocas de alto grado metamórfico, que en principio son correlacionables con las que hacen parte del basamento precámbrico de la SNSM, se localizan en otras regiones de los Andes colombianos y aparecen a manera de bloques aislados y separados unos de otros. Al sur de la Cordillera Oriental aparece el macizo de Garzón, el cual está constituido por rocas de alto grado metamórfico y granitoides precámbricos y jurásicos (Kroonenberg, 1982, 1982a). En la parte norte de la Cordillera Oriental, en el macizo de Santander, aflora un conjunto de rocas metamórficas de facies anfibolita alta, las cuales fueron agrupadas en el llamado Gneis de Bucaramanga (Ward et al. 1973). Sobre el flanco este de la Cordillera Central se localizan

algunos afloramientos de rocas metamórficas de medio a alto grado metamórfico entre las que se destacan las Anfibolitas de Tierradentro (Vesga & Barrero, 1978) y las Milonitas de El Vapor (Ordóñez et al. 1999).

En algunas de estas áreas se han realizado estudios geocronológicos, entre estos se destacan los siguientes: en la Sierra Nevada de Santa Marta (MacDonald & Hurley, 1969; Tschanz et al., 1974; Restrepo et al., 1997), macizo de Santander (Ward et al., 1973; Restrepo et al., 1997), macizo de Garzón (Álvarez, 1981; Álvarez & Linares 1984; Priem et al., 1989; Restrepo et al., 1997), flanco oriental de la Cordillera Central (Vesga & Barrero, 1978; Restrepo et al., 1997; Ordóñez et al., 1999). En general, los estudios indican que existen fragmentos corticales precámbricos, los cuales constituyen el basamento de la parte Oriental de los Andes Colombianos y que se generaron o fueron afectados significativamente por un evento crono-correlacionable con la orogenia Grenville (1160-900 Ma), similar al registrado en la parte oriental de Norte América.

Geología local

La cartografía de la SNSM está presentada en un mapa a escala 1:200.000, realizado por **Tschanz et al.** (1969), pero el informe con las descripciones detalladas de las unidades no ha sido publicado. Las rocas de interés para este estudio se localizan en la parte central y sureste de la SNSM y hacen parte de un conjunto de rocas de alto grado metamórfico (facies anfibolita alta hasta facies granulita), el cual aflora principalmente al sureste del lineamiento o falla de Sevilla y constituye el basamento de la provincia Sierra Nevada.

Las metamorfitas precámbricas afloran en intercalaciones centimétricas a métricas de rocas félsicas y máficas, muchas de las cuales presentan las asociaciones minerales de la facies granulita. Los gneises se presentan bandeados, con las bandas claras de gneises cuarzo feldespáticos y los gneises con hornblenda-clinopiroxeno en las bandas melanocráticas. Granulitas cuarzo-pertíticas y las típicas con granate y piroxeno, junto a las anfibolitas constituyen las otras rocas de esta unidad. **Gansser** (1955) indicó la presencia, local e intercalada con las rocas más comunes, de metamorfitas calcáreas con olivino y wollastonita. Adicionalmente, **Tschanz et al.** (1969) reportan, en la parte occidental, bandas y lentes de anortositas.

El bandeamiento y la presencia composicional tan variada permite en principio asociar el protolito de las metamorfitas a una secuencia volcano-sedimentaria, la cual fue afectada por un evento a condiciones de presión-temperatura (P-T) de la facies granulita. La ocurrencia localizada de anortositas puede estar asociada a la intrusión de silos, sin embargo, la edad y génesis de este evento son aún incógnitas.

La secuencia de metamorfitas de alto grado, se ha agrupado en las denominadas Granulitas de Los Mangos (**Tschanz et al.**, 1969, 1974) y algunos de los mejores afloramientos se localizan sobre el cauce de los ríos Guatapurí y Mangos a unos 15 km al noroeste de la ciudad de Valledupar (punto 1, Fig. 1). **Tschanz et al.** (1974) obtuvieron una edad K-Ar en hornblenda de 940 ± 30 Ma, para un gneis con hornblenda, piroxeno, granate y plagioclasa (punto 3, Fig. 1).

En la parte norte de la SNSM, y en la misma provincia de Sierra Nevada, aflora un conjunto de gneises bandeados, en donde predomina un gneis con hornblenda y plagioclasa. Esta unidad no presenta rocas con una mineralogía típica de la facies granulita, como es el caso de las anteriormente descritas y fue agrupada por **MacDonald & Hurley** (1969) en el llamado Gneis de Dibulla.

Los afloramientos característicos de estos gneises se localizan a unos 12 km al sureste de la población de Dibulla, en especial en el cauce y riberas del río Jerez o Dibulla. Para el Gneis de Dibulla **MacDonald & Hurley** (1969), obtuvieron una edad isocrónica Rb/Sr de 1400 Ma y una relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial de 0.703.

Recientemente, **Restrepo et al.** (1997), realizaron trabajos de datación en circones de muestras de estas unidades. En circones, de carácter detritico, de una muestra del Gneis de Dibulla, fueron obtenidas edades U/Pb entre 1.0 y 1.3 Ga. Igualmente, para una muestra de las Granulitas de Los Mangos, se obtuvo por U/Pb una edad de 1513 ± 35 Ma (intercepto superior), interpretada como asociada a la edad de cristalización de parte del protolito y una edad de 456 ± 60 Ma (intercepto inferior) e interpretada como asociada al metamorfismo regional de la orogenia Caparonensis.

Finalmente, la edad isocrónica Rb/Sr de 1400 Ma, obtenida por **MacDonald & Hurley** (1969), junto a las edades U/Pb entre 1.0 y 1.3 Ga obtenidas por **Restrepo et al.** (1997) para el Gneis de Dibulla no permiten establecer una correlación entre esta unidad y las Granulitas de Los Mangos y los estudios posteriores se encargarán de dar respuesta a este asunto.

Petrografía

Para los estudios petrográficos e isotópicos se dispuso de 10 muestras, las cuales fueron colectadas en afloramientos de roca fresca que abundan en las riberas de los ríos Guatapurí y Mangos en la sección tipo a partir de la cual se derivó el nombre de Granulitas de Los Mangos (punto 1, Fig. 1).

La secuencia metamórfica de alto grado que aflora en la confluencia de los ríos Guatapurí y Mangos, presenta en afloramiento un bandeamiento composicional. Tal bandeamiento corresponde a una estructura heredada del protolito, posiblemente vulcano-sedimentario. A partir del estudio de las muestras de mano se destaca la presencia de anfibolitas, gneises y granulitas, rocas en general de grano medio. Considerando la variedad y la falta de descripciones detalladas de las rocas que componen esta secuencia, se realizaron estudios petrográficos a partir del estudio de secciones delgadas, los cuales se realizaron en los laboratorios de petrografía de la Universidad de Brasilia. Los resultados y una descripción de las principales unidades que afloran en este sector son presentados a continuación:

Anfibolitas (GRM-1)

Compuesta principalmente por plagioclasa y hornblenda, en menor cantidad se tiene biotita, cuarzo y

opacos, como accesorio se destaca el apatito. La textura es granoblástica orientada, con la foliación definida por los prismas alargados de anfíbol y algunos granos alargados de plagioclasa. Paralelos a la foliación se presentan agregados de granos de cuarzo y finas hojas de biotita.

En algunos granos, la hornblenda presenta extinción ondulatoria discreta con fracturas como las microestructuras más comunes. Son frecuentes las inclusiones de cuarzo, plagioclasa y minerales opacos. Es común la presencia de bordes alterados a un material microcristalino, en algunos casos es posible identificarlo como un Intercrecimiento de actinolita, clorita, mica blanca, minerales opacos y biotita.

La plagioclasa tiene como microestructuras más comunes una extinción ondulatoria y subgranos y granos con bordes recrystalizados. La extinción ondulatoria es concéntrica indicando que algunos granos tienen zonación química. La presencia de más de un sistema de maclas indica un origen por deformación. Algunos granos están deformados de modo que las maclas se presentan levemente curvas. La saururización ocurre preferentemente a lo largo de las fracturas con la transformación de plagioclasa a mica blanca. La diferencia de relieve entre plagioclasa y cuarzo indica que la composición de la primera debe ser entre andesina y labradorita.

La biotita presenta pleocroísmo de rojo a marrón oscuro.

Gneises bandeados (GRM-2 y 3)

La roca presenta bandeamiento composicional centimétrico, con una de las bandas compuesta básicamente por cuarzo y feldespatos (banda 1), y la otra compuesta por cuarzo, plagioclasa y hornblenda (banda 2). El contacto entre estas es transicional y ocurre en una capa de 5 mm, en donde se observa un aumento en la proporción de hornblenda y la disminución en la cantidad de ortoclasa, partiendo de la banda rica en este último. El bandeamiento es paralelo a la foliación, la cual está definida por granos alargados de cuarzo, feldespatos y por agregados alargados de granos más finos de estos minerales y por hornblenda y biotita cuando están presentes.

Banda 1. compuesta de cuarzo, plagioclasa, ortoclasa perfitica, biotita, hornblenda, circón y opacos. El cuarzo forma granos xenoblásticos alargados paralelamente a la foliación. El alargamiento de los granos forma una cinta de cuarzo que puede prolongarse por más de 2 cm; al interior de estas cintas es común la presencia de subgranos y bandas de deformación; ya en los bordes aparecen granos menores sin texturas deformacionales, los cuales también se presentan en la matriz.

La plagioclasa forma granos alargados finamente maclados con exsoluciones en forma rectangular o de gotas. Es común la presencia de subgranos o granos recrystalizados. Buena parte de los granos presenta una alteración de color castaño. Algunos granos saururizados están sustituidos por mica blanca y carbonato. La relación de relieve con el cuarzo indica una composición de andesina.

La ortoclasa está subordinada a la plagioclasa, comúnmente perfitica con exsoluciones de albita en forma de gotas o agujas. Cuando está en contacto con plagioclasa es común la formación de mirmequitas, que sustituyen la plagioclasa por un intercrecimiento de albita + cuarzo.

Banda 2. Cuarzo, plagioclasa, hornblenda, biotita, clorita, circón y opacos son los minerales constituyentes. En la matriz, el cuarzo aparece en pequeños granos alargados, con o sin subgranos y bandas de deformación. Algunos granos mayores están recrystalizados a nuevos granos menores, en general concentrados en los bordes.

La plagioclasa aparece como granos alargados con extinción ondulatoria y algunos subgranos y nuevos granos recrystalizados en los bordes, así como más de un sistema de maclas como resultado de la asimilación de parte de la deformación. La saururización de los granos ocurre en los bordes y en fracturas.

La hornblenda aparece en la forma de prismas alargados. Granos enteros o porciones de estos están sustituidos por actinolita + clorita, lo que ocurre con mayor intensidad cerca de las fracturas, que a su vez están rellenas principalmente por clorita y minerales opacos.

La biotita es rara y en general está asociada con un estado de alteración de la hornblenda, presenta pleocroísmo de rojo oscuro a marrón.

Gneis con piroxeno (GRM-4)

La mineralogía básica de esta roca es: clinopiroxeno, hornblenda, plagioclasa, cuarzo, apatito y opacos. La foliación está marcada por plagioclasa, hornblenda y clinopiroxeno. El contacto entre clinopiroxeno y cuarzo es normal. El clinopiroxeno presenta texturas de exsolución que pueden estar deformadas o curvadas. La hornblenda aparece fracturada cuando está substituida por clorita. La plagioclasa presenta subgranos y más de un sistema de maclas.

Gneises granatíferos (GRM-8 y 10)

Estas rocas se componen de cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, granate, biotita, y minerales opacos. La fo-

liación está definida por granos y agregados de granos de cuarzo alargados, alternados con granos alargados de ortoclasa y, en menor cantidad, plagioclasa. Los granos de granate están dispersos en la roca, entretanto los porfiroblastos están concentrados en zonas ricas en feldespatos, los cuales están bordeando los granates. En estas áreas la cantidad de biotita también es mayor y puede ocurrir como inclusiones o en los bordes del granate. El granate presenta algunas fracturas donde está substituido por clorita.

El cuarzo forma granos xenoblásticos alargados con la presencia en su interior de subgranos, bandas de deformación, extinción ondulatoria y a veces asociado con granos nuevos de menor tamaño.

La ortoclasa posee extinción ondulatoria, subgranos y exsoluciones en la forma de gotas alargadas.

La plagioclasa está bastante sauritizeda y subordinada a la ortoclasa, siendo comúnmente substituida por mirmequita cuando está en contacto con la ortoclasa.

La biotita presenta pleocroísmo variando entre rojo y marrón oscuro, con algunos granos substituidos por un intercrecimiento de mica blanca y clorita.

Granulitas s.s. (GRM-9)

Son estas las rocas que caracterizan a las Granulitas de los Mangos; se componen de cuarzo, granate, ortopiroxeno, biotita, mesoperita, plagioclasa, apatito, circón y minerales opacos. Es una granulita con la foliación definida por los prismas alargados de ortopiroxeno, agregados alargados de granos de cuarzo y feldespatos y por biotita orientada.

En general, el cuarzo forma granos xenoblásticos bastante alargados formando cintas, estas pueden presentarse interligadas por ramificaciones y en su interior es común la ocurrencia de subgranos y bandas de deformación.

El ortopiroxeno está alterado a un material microcristalino de color marrón y birrefringencia alta.

El granate ocurre como porfiroblastos xenomórficos con muchas inclusiones de plagioclasa, cuarzo y biotita.

La biotita es rara en la matriz, estando en general asociada al ortopiroxeno o a minerales opacos.

Paragénesis e implicaciones metamórficas

Algunas asociaciones minerales presentes en las rocas que componen las Granulitas de Los Mangos posibilitan la caracterización petrográfica de esta unidad,

lo cual se constituye en un aporte más de este trabajo. Las siguientes paragénesis fueron observadas en las muestras,

1. Anfibolita: hornblenda + plagioclasa + biotita + cuarzo + minerales opacos,
2. Gneis bandeado:
 - Banda 1: cuarzo + plagioclasa + ortoclasa peritítica + biotita + hornblenda,
 - Banda 2: cuarzo + plagioclasa + hornblenda + biotita,
3. Gneis con piroxeno: clinopiroxeno + hornblenda + plagioclasa + cuarzo,
4. Gneis granatífero: cuarzo + ortoclasa + granate + biotita + plagioclasa,
5. Granulita: cuarzo + granate + ortopiroxeno + biotita + mesoperita + plagioclasa.

Las paragénesis 1 y 2 indican condiciones mínimas de P y T de la facies anfibolita pero también son estables en las condiciones de la facies granulita (Turner 1981, Yardley 1989, Spear 1993). Por lo tanto, no ayudan a demarcar las condiciones del pico del metamorfismo.

Las paragénesis 3, 4 y 5 son típicas de la facies granulita (Turner 1981, Yardley 1989, Spear 1993). En la paragénesis 3, la asociación de clinopiroxeno + cuarzo, es indicativa de condiciones de la facies granulita (Green & Ringwood, 1967). En la paragénesis 4 la asociación de cuarzo, ortoclasa, granate y biotita sin la presencia de moscovita indica condiciones mínimas de facies granulita, con producción de granate + ortoclasa + fundido probablemente a través de la descomposición de la biotita. La ausencia de silimanita y cordierita en la roca debe estar ligada a una composición pobre en Al y Mg.

La paragénesis 5 es típica de la facies granulita en virtud de la presencia de ortopiroxeno + granate + mesoperita \pm biotita, y probablemente generada por una reacción de descomposición de la biotita (Clemens & Droop 1998, Spear *et al.* 1999).

La presencia de sauritizedación en la plagioclasa, así como la alteración de la biotita y hornblenda a clorita y clorita + actinolita respectivamente, indican que el retrometamorfismo ocurrió en condiciones de facies anfibolita baja a esquistos verde (Turner 1981, Yardley 1989, Spear 1993).

Relación de las texturas, microestructuras y metamorfismo

En general, el cuarzo se presenta en forma de granos alargados generando cintas de cuarzo, que pueden presentar ramificaciones que se conectan con cintas paralelas. En el interior de las cintas es común la presencia de subgranos y bandas de deformación. La ocurrencia de cuarzo en cintas indica que las condiciones de temperatura durante el metamorfismo fueron elevadas al punto que el mecanismo de migración de límite de grano generó granos bastante grandes en la roca (McLelland 1984, Knipe & Wintsch 1985, Lucas 1990), ésto es facilitado en condiciones de la facies granulita. Por otro lado, la presencia de subgranos y bandas de deformación al interior de las cintas de cuarzo indican que hubo deformación a temperaturas más bajas, alrededor de 400 °C (Kruhl 1986). Esa deformación tardía puede estar ligada al levantamiento de las rocas o a un metamorfismo o retrometamorfismo posterior, ligado con algún evento metamórfico andino.

La presencia de subgranos y bandas de deformación en el cuarzo es una característica bastante penetrativa, sugiriendo que esta deformación, posterior al pico del metamorfismo, fue relativamente intensa. De este modo, no fue posible reconocer posibles texturas o microestructuras ígneas en las rocas en donde ocurren bandas constituidas por cuarzo y feldespatos (McLellan 1983, Vernon & Collins 1988, Vernon 1999), lo que impide a partir de la petrografía, definir si estas bandas eran o no antiguos leucosomas.

La formación de subgranos en los feldespatos indica temperaturas mínimas de deformación cercanas a 500 °C. También se pueden inferir temperaturas elevadas, cercanas a 600 °C con base en la deformación dúctil del clinopiroxeno, lo que está en acuerdo con las microestructuras presentes en los granos de hornblenda (Allison & La Tour 1977, Brodie & Rutter 1985).

La edad modelo T_{DM} , interpretada como la edad de residencia cortical para un material, fue obtenida a partir

Geoquímica Isotópica y Geocronología

Los estudios isotópicos Sm y Nd fueron realizados en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad de Brasilia, siguiendo la metodología descrita por Gioia & Pimentel (2000). Después de obtener concentrados de Sm y Nd por cromatografía de cambio iónico, se efectuaron los análisis en un modo estático usando un espectrómetro de masa multi-colector Finnigan MAT-262. Las concentraciones de Sm y Nd fueron obtenidas por dilución isotópica utilizando un *spike* ^{149}Sm - ^{150}Nd . La razón isotópica de Nd fue normalizada con el valor $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$. La incertidumbre 1s para la razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ es menor que 0.005%.

La constante de decaimiento usada es la recomendada por Steiger & Jäger (1977) y las edades obtenidas presentan un intervalo de confianza del 95%. Durante el período en que se realizaron los análisis el patrón LaJolla de Nd presentó valores promedio de 0.511835 ± 14 , el cual, considerando la incertidumbre, es el mismo recomendado por la USGS de 0.511860 (Govindaraju, 1994).

Con los datos isotópicos Sm-Nd para 3 muestras de Las Granulitas de Los Mangos y a partir de la roca total (RT) y del análisis de un concentrado de granate fue posible obtener una edad isocrónica Sm-Nd (Tabla 1 y Fig. 2). Adicionalmente, los valores de Sm-Nd permitieron calcular las edades modelo (T_{DM}) y los valores respectivos de $\epsilon_{Nd(t)}$.

La edad modelo T_{DM} , interpretada como la edad de residencia cortical para un material, fue obtenida a partir

Tabla 1. Datos Sm-Nd de las Granulitas de Los Mangos. Incertidumbres 1s en la razón $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ son menores que 0.003% y para la razón $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ menor que 0.1%. El valor $\epsilon_{Nd(t)}$ fue calculado utilizando la edad isocrónica Sm-Nd de 971 Ma.

Muestra	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{Nd(971\text{ Ma})}$	T_{DM} (Ga)
GRM-1 Anfibolita	5.18	22.52	0.512290 ± 12	0.1391	0.37	1.52
GRM-2 Gneis bandeado	6.15	39.56	0.511882 ± 15	0.0940	-1.99	1.47
GRM-10 (RT) Gneis granatífero	9.26	44.48	0.511930 ± 11	0.1259	-5.02	1.92
GRM-10 (Gr) Granate	8.47	5.02	0.517620 ± 15	1.0195		

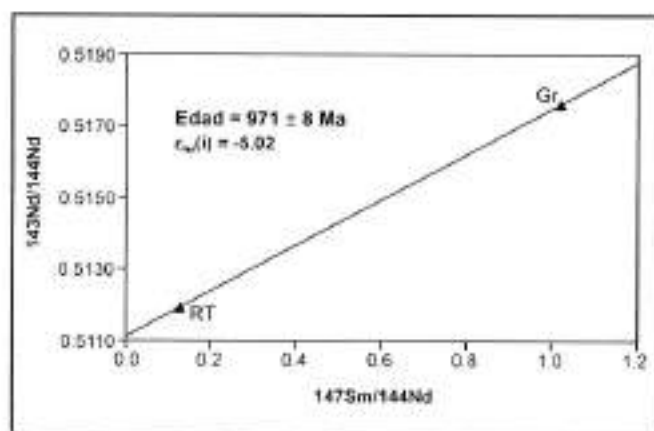


Figura 2. Isócrona Sm-Nd con el par Granate (Gr) y Roca Total (RT), para una muestra de las Granulitas de Los Mangos.

del intercepto entre la línea de evolución de la muestra con la curva de evolución del manto empobrecido (DM), esta última determinada a partir de la ecuación de DePaolo (1981): $0.25T^2 - 3T + 8.5$ (Fig. 3).

El valor de Epsilon de Neodimio (ϵ_{Nd}) en el tiempo "t" se obtuvo utilizando la ecuación de DePaolo & Wasserburg (1976): $\epsilon_{\text{Nd}} = [({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_t / ({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} - 1] \times 10^4$, con valores para el CHUR (*chondritic uniform reservoir*) de: $({}^{143}\text{Nd}/{}^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.512638$ y $({}^{147}\text{Sm}/{}^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0.1967$.

Las muestras analizadas corresponden a 3 de las asociaciones más abundantes presentes en la secuencia bandeada de los ríos Guatapurí y Mangos. La muestra GRM-1 (anfíbolita) presenta los contenidos más bajos de Sm y Nd, lo cual es compatible con su carácter de roca

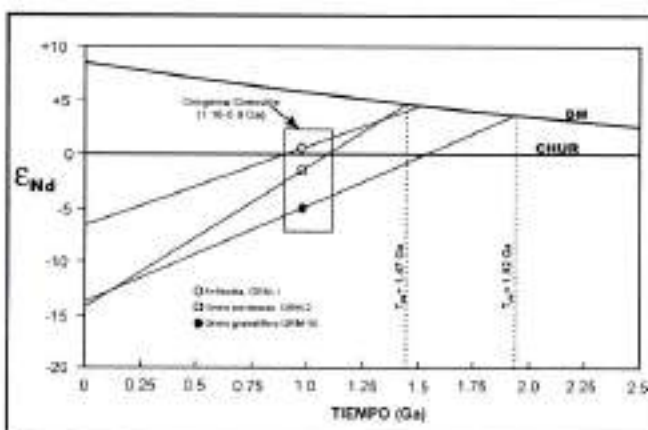


Figura 3. Diagrama ϵ_{Nd} (T=971 Ma) vs. tiempo para las Granulitas de Los Mangos.

básica. El gneis granatífero (GRM-10), presenta los más altos valores en las concentraciones de Sm y Nd, siendo el reflejo de su composición más cortical. Ya la muestra GRM-2, la cual corresponde a la banda 1 descrita para los gneises bandeados, tiene valores intermedios, comparada con las anteriores.

Las edades modelo T_{DM} calculadas para estas rocas dan valores entre 1.47 y 1.92 Ga, lo que sugiere que los protolitos de la secuencia vulcano-sedimentaria son tan antiguos como 1.9 Ga.

A partir de la muestra GRM-10 fue posible obtener un concentrado de granates, los cuales se separaron en la lupa y se escogieron aquellos que no contenían inclusiones o impurezas. Con los datos isotópicos de Sm y Nd para la roca total (RT) y los granates (Gr) fue posible obtener una edad isocrónica de $971 \pm 8 \text{ Ma}$ (Fig. 2). Este valor es interpretado como la edad del metamorfismo de facies granulita responsable por la formación de estas rocas y asociado cronológicamente con la orogenia Grenville

Los valores de ϵ_{Nd} calculados para la edad de 971 Ma, están entre +0.37 y -5.02 y sugieren que para este momento los materiales que fueron sometidos al metamorfismo de la facies granulita, tenían asignatura isotópica Sm-Nd que indicaba la presencia de fuentes primordialmente corticales (muestras GRM-2 y 10) y en menor proporción la participación de materiales del tipo manto derivado (muestra GRM-1).

Discusión y Conclusiones

Las rocas de alto grado metamórfico (granulitas de Los Mangos) que afloran en las riberas de los ríos Guatapurí y Mangos se constituyen en el basamento de la porción oriental de la SNSM y más específicamente de la llamada provincia Sierra Nevada. Es una secuencia de rocas bandeadas, en donde predominan: anfíbolitas, gneises bandeados, gneises con piroxeno, gneises granatíferos y granulitas. El bandeamiento composicional que se observa a lo largo de los afloramientos es el reflejo de la estructura original de su protolito y la intercalación de bandas máficas, félsicas y localmente bandas calcáreas, lo que sugiere un origen vulcano-sedimentario para la secuencia. Esta estructura bandeada es común en otras metamorfitas de medio a alto grado que afloran en Colombia como es el caso de las rocas de los macizos de Garzón y Santander (Ward *et al.*, 1973; Kroonenberg, 1982; Restrepo *et al.*, 1997).

Las asociaciones minerales confirman que la secuencia fue afectada por un evento metamórfico de alto grado,

el cual alcanzó la facies granulita. Se destaca la presencia de rocas con ortopiroxeno-granate-mesopertita, ortoclasa-granate-biotita, clinopiroxeno-cuarzo, que determinan condiciones de facies granulita. Asociaciones de alto grado fueron descritas por **Kroonenberg** (1982), para el macizo de Garzón. Por otro lado, en el macizo de Santander las asociaciones minerales han permitido establecer condiciones de facies anfibolita alta para las rocas metamórficas bandeadas (**Ward et al.**, 1973).

El alto grado metamórfico determinado para estas unidades junto a la estructura bandeada posibilita el establecimiento de una correlación entre ellas. Esta correlación ha sido propuesta y en parte confirmada a partir de los datos geocronológicos disponibles para estas unidades, los cuales apuntan hacia la presencia de un evento metamórfico entre 1.1 y 0.9 Ga (**Ward et al.**, 1973; **Tschanz et al.**, 1974; **Álvarez**, 1981; **Álvarez & Linares** 1984; **Priem et al.**, 1989; **Restrepo et al.**, 1997).

Kroonenberg (1982), ya había propuesto esta correlación y agrupó este conjunto de rocas en el denominado cinturón granulítico Garzón-Santa Marta. Según el autor, estas rocas fueron generadas por un evento orogénico tipo Grenville (1100-900 Ma), similar al registrado en la parte oriental de Norte América. Posteriormente, **Toussaint** (1993) y **Restrepo et al.** (1997) se adhieren a lo propuesto por **Kroonenberg** (1982) e indican que existen evidencias claras de que la colisión entre Norte y Suramérica, hace ~1.1 Ga fue la responsable por la génesis de estas unidades.

Los datos isotópicos Sm-Nd presentados en este estudio son compatibles con esta propuestas y confirman la existencia de un ambiente geológico grenvilliano como responsable por la génesis de estas rocas. Las Granulitas de Los Mangos, presentan valores T_{DM} entre 147 y 192 Ga y valores $e_{Nd}(T=971 \text{ Ma})$ entre +0.37 y -5.02 (Fig. 3). Los datos indican que al momento de la orogenia Grenville, parte de las fuentes que originaron estas rocas tenían edades de hasta 1.92 Ga y que a pesar de tener un carácter cortical, es evidente la presencia de material manto derivado o con poca residencia cortical, como lo indica el valor $e_{Nd}(T=971 \text{ Ma})$ levemente positivo de la muestra de anfibolita.

Datos semejantes fueron obtenidos por **Ruiz et al.** (1988) en rocas grenvillianas de México, interpretados como el producto de una mezcla de corteza continental, con edad media de 1.9 Ba, y entre 70% y 90% de material manto derivado generado durante la orogenia Grenville. La presencia de material juvenil durante el evento Grenville es también evidente en la zona de Garzón, en donde **Priem et al.** (1989), obtuvieron valores <0.704 en

la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial, para las rocas del macizo de Garzón (gneises y granulitas), valor que indica una corta residencia cortical para los protolitos que generaron estas rocas. Considerando lo anterior, se sugiere que las rocas grenvillianas de Colombia representan ciertamente material manto derivado generado hace ~1.0 Ga o de poca residencia cortical, el cual se mezcló con material cortical con edades de hasta 1.9 Ga.

El valor Sm-Nd de $971 \pm 8 \text{ Ma}$, es la edad del metamorfismo grenvilliano de alto grado responsable por la formación de las Granulitas de Los Mangos. Este valor es el mismo obtenido por **Tschanz et al.** (1974) por el método K-Ar sobre un gneis correlacionable con la secuencia tipo de los ríos Guatapurí y Mangos. A partir de esto se confirma que las metamorfitas de alto grado que afloran en la SNSM son parte de una misma unidad la cual aparece desmembrada principalmente a causa de la intrusión de los granitoides jurásicos. La edad de $971 \pm 8 \text{ Ma}$ es igualmente semejante a las obtenidas para las rocas de los macizos de Garzón y Santander, validando las propuestas de correlación que se han planteado entre estas unidades.

Edades asociadas al evento Grenville, como la obtenida para las granulitas de Los Mangos (y las rocas correlacionables de Colombia), han sido reportadas más al sur, en el macizo peruano de Arequipa, en donde **Wasteneys et al.** (1995) registran edades U/Pb de 970 Ma, igualmente interpretadas como asociadas al evento de colisión entre Laurentia y el Cratón Amazónico en el período entre 1110-900 Ma.

Con ello, las Granulitas de Los Mangos se constituyen en la exposición más septentrional, en Suramérica, de rocas precámbricas de alto grado las cuales fueron generadas durante la orogenia Grenville. Sin embargo, persiste la incógnita respecto al tipo de estructura que liga a estas rocas con las otras unidades precámbricas de los Andes colombianos y las cuales están geográficamente separadas. No existe, o no está disponible, información del subsuelo que permita plantear la existencia de un cinturón continuo Garzón-Bucaramanga-Santa Marta, como lo sugiere por **Kroonenberg** (1982) o que, por el contrario, cada macizo y las rocas de alto grado que lo constituyen sean parte de bloques independientes que se han adherido a la parte noroeste de Sudamérica por procesos asociados a la dinámica de colisión de terrenos.

Agradecimientos

Para la realización de este estudio se contó con la colaboración de la Facultad de Minas de la Universidad

Nacional de Colombia - Sede Medellín, del Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia y el apoyo financiero del CNPq y CAPES de Brasil. Agradecimientos especiales a los profesionales: Flor Patricia Ángel C., Edgar Franco C., Simone M. Gioia, Jorge Julián Restrepo A. y Humberto González I., por la colaboración y discusión de asuntos relacionados con la problemática geológica de Colombia.

Referencias Bibliográficas

- Allison I. S. & La Tour T. E. (1977). Brittle deformation of hornblende in a mylonite; A direct geometrical analogue of ductile deformation by translation gliding. *Canadian Journal of Earth Science*, **14**: 1953-1959.
- Álvarez J. (1981). Determinación de edad Rb/Sr en rocas del Macizo de Garzón, Cordillera Oriental de Colombia. *Geología Norandina*, **4**: 31-38.
- & Linares E. (1984). Una edad K/Ar del Macizo de Garzón, departamento del Huila (Colombia). *Geología Norandina*, **9**: 31-38.
- Brodie K. H. & Rutter E. H. (1985). On the relationship between deformation and metamorphism, with special reference to the behaviour of basic rocks. In: Thompson, A.B. & Rubie, D.C. (eds.) *Metamorphic reactions - kinetics, textures and deformation*. Advances in Physical Geochemistry, Volume 4. Springer Verlag, New York, p: 138-179.
- Clemens J. D. & Droop G. T. R. (1998). Fluids, P-T paths and the fates of anatectic melts in the Earth's crust. *Lithos*, **44**: 21-36.
- DePaolo D. J. (1981). Neodymium isotopes in The Colorado Front Range and crust-mantle evolution in the Proterozoic. *Nature*, **291**: 193-196.
- & Wasserburg G. J. (1976). Nd isotopic variations and petrogenetic models. *Geophysical Research Letters*, **3**(5): 249-252.
- Gansser A. (1955). Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien Sudamerika): Schweizer. Mineralog. U. Petrog. Mit., v. **35** (2): 209-279.
- Gioia S. M. C. & Pimentel M. M. (2000). The Sm-Nd isotopic method in the Geochronology Laboratory of the University of Brasilia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **72**(2): 219-245.
- González H., Núñez A. & G. París (1988). Mapa geológico de Colombia, escala 1:1.500.000, memoria explicativa. Ingeominas, 46-49.
- Govindaraju K. (1994). Compilation of working and sample description for 383 geostandards. *Geostand Newslett (special issue)*, **18**:1-158.
- Green D. H. & Ringwood A. E. (1967). An experimental investigation of the gabbro to eclogite transformation and its petrological applications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**: 767-833.
- Knippe R. J. & Wintsch R. P. (1985). Heterogeneous Deformation, foliation development and metamorphic processes in a poly-phase mylonite. In: Thompson, A.B. & Rubie, D.C. (eds.) *Metamorphic reactions - kinetics, textures and deformation*. Advances in Physical Geochemistry, Volume 4. Springer Verlag, New York, p: 180-210.
- Kroonenberg S. B. (1982). Litología, metamorfismo y origen de las granulitas del macizo de Garzón, Cordillera Oriental (Colombia). *Geología Norandina*, **6**: 40-46.
- (1982a). A Grenvillian granulite belt in the Colombian Andes and its relation with the Guiana Shield. *Geologie en Mijnbouw*, **61**(3): 325-333.
- Kruhl J. H. (1986). Textures and c-axis orientations of deformed quartz crystals from porphyric dikes of the Alpine - Root Zone (Western Alps). *Geologische Rundschau*, **75**: 601-623.
- Lucas S. B. (1990). Relations between thrust belt evolution, grain-scale, and metamorphic processes: Cape Smith Belt, northern Canada. *Tectonophysics*, **178**: 151-182.
- MacDonald W. D. & Hurley P. M. (1969). Precambrian gneisses from northern Colombian, South America. *Geological Society of America Bulletin*, **80**: 1867-1872.
- McLellan E. L. (1983). Contrasting textures in metamorphic and anatectic migmatites: an example from the Scottish Caledonides. *Journal of Metamorphic Geology*, **1**: 241-262.
- J. M. (1984). The origin of ribbon lineation within the southern Adirondacks, USA. *Journal of Structural Geology*, **6**: 147-157.
- Ordóñez O., Pimentel M. M., Moraes R. & Restrepo J. J. (1999). Rocas Grenvillianas en la región de Puerto Berrio-Antioquia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **23**(87): 225-232.
- Priem H. N. A., Kroonenberg S. B., Boelrijk N. A. I. M. & Hebeda E. H. (1989). Rb-Sr and K-Ar evidence for the presence of a 1.6 Ga basement underlying the 1.2 Ga Garzón-Santa Marta granulite belt in the Colombia Andes. *Precambrian Research*, **42**: 315-324.
- Restrepo P. A., Ruiz J., Gehrels G. & Cosca, M. (1997). Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: new constraints for Late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. *Earth and Planetary Science Letters*, **150**: 427-441.
- Ruiz J., Patchett J. & Ortega-Gutiérrez F. (1988). Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of Mexico from Nd isotopic studies. *Geological Society of America Bulletin*, **100**: 274-281.
- Spear F. S. (1993). *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America Monograph. Chelsea, Michigan, p 799.
- , Kohn, M. J. & Cheney, J. T. (1999). P-T paths from anatectic pelites. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **134**: 17-32.
- Steiger R. H. & Jüger E. (1977). Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Sciences Letters*, **36**: 359-362.
- Toussaint J. F. (1993). Evolución Geológica de Colombia, Precámbrico y Paleozoico. Univ. Nacional de Colombia. Medellín, 129p.
- Tschanz C., Jimeno A. & Cruz B. J. (1969). Geology of the Santa Marta area (Colombia). Instituto de Investigaciones Geológico Mineras. Informe 1829. 288pp.

- _____, **Richard F. M., Cruz B. J., Harald H. M. & Gerald T. C.** (1974). Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northern Colombia. *Geological Society of America Bulletin*, **85**: 273-284.
- Turner F. J.** 1981. *Metamorphic Petrology - mineralogical, field and tectonic aspects*, 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Vernon R. H.** (1999). Quartz and feldspar microstructures in metamorphic rocks. *The Canadian Mineralogist*, **37**: 513-524.
- _____, & **Colins W. J.** (1988). Igneous microstructures in migmatites. *Geology*, **16**: 1126-1129.
- Vesga, C. J. & Barrero D.** (1978). Edades K/Ar en rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Central de Colombia y su implicación geológica. - II Congreso Colombiano de Geología, libro de resúmenes, Bogotá.
- Ward E. D., Goldsmith R., Cruz B. J. & Restrepo A. H.** (1973). Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona. *Boletín Geológico, Ingeominas*, **21**(1-3): 1-132.
- Wasteneys H. A., Clark A. H., Farrar E. & Langridge R. J.** (1995). Grenvillian granulite-facies metamorphism in the Arequipa massif, Peru: a Laurentania - Gondwana link. *Earth and Planetary Science Letters*, **132**: 63-73
- Yardley B. W. D.** 1989. *An introduction to Metamorphic Petrology*. Longman Earth Science Series, Singapore, 248 pp.

POLIMORFISMO GENÉTICO DEL MHC Y SU ASOCIACIÓN CON LA INFECCIÓN HTLV-II

Una herramienta de epidemiología molecular en el análisis de subpoblaciones del caribe colombiano

por

Eduardo Egea MD, MSc*

Resumen

Egea, E.: Polimorfismo genético del MHC y su asociación con la infección HTLV-II. *Una herramienta de epidemiología molecular en el análisis de subpoblaciones del caribe colombiano*. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **26**(99): 181-196. ISSN 0370-3908.

Introducción. Las infecciones causadas por los virus que infectan los linfocitos T del humano (HTLV-I y II), parecen tener una distribución geográfica y étnica entre amerindios y otras poblaciones nativas en el mundo. En Colombia existe un foco endémico entre afrocolombianos del litoral Pacífico, no así en la costa del Caribe.

De otra parte, se ha demostrado una distribución geográfica y étnica de las infecciones causadas por estos virus, las cuales, a su vez, se excluyen mutuamente. También se ha descrito que varios grupos nativos de América presentan una alta prevalencia de marcadores serológicos de esta infección.

Objetivo. Este estudio fue realizado con el propósito de investigar la relación existente entre la infección producida por el virus HTLV-I/II y el polimorfismo genómico de los antígenos de leucocitos humanos -HLA clase I y clase II- en tres diferentes grupos étnicos del litoral norte colombiano: wayúu (amerindios que habitan la península de La Guajira), afrocolombianos (habitantes de dos corregimientos Palenque y Barú, de la misma área geográfica colombiana) y mestizos de la ciudad de Barranquilla.

Métodos. La tipificación alélica de los antígenos HLA clase II se llevó a cabo en 41, 75 y 100 muestras de ADN pertenecientes a individuos no relacionados genéticamente, de cada grupo étnico wayúu, mestizo y afrocolombiano, respectivamente, usando la metodología PCR-SSOP. Los alelos HLA clase I se identifican mediante la metodología PCR-SSOP.

* Profesor investigador. Laboratorio de Inmunología y Biología Molecular, División Ciencias de la Salud, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia (Suramérica). egea@uninorte.edu.co

Resultados. Las muestras pertenecientes a los mestizos y a los afrocolombianos resultaron negativas. Once sueros de la población wayúu fueron repetidamente reactivas con aglutinación pasiva (PA) y micro elisa (EIA), reconfirmadas usando una prueba de Western Blot (HTLV-Blot, 2.4 Gene Laboratory), y se obtuvo una seroprevalencia al HTLV-II de 7% entre los wayúu.

Los alelos con mayor frecuencia en los wayúu fueron DRB1* 0411 (46%) y DQB1* 0302 (83%). Analizando los haplotipos en los 11 wayúu seropositivos encontramos en todos ellos la expresión del haplotipo HLA DRB1*0411-DQB1*0302, ($p < 0.05$). Ninguno de los 75 mestizos y los 150 afrocolombianos lo expresaron.

Para los antígenos HLA- Clase I, la muestra estuvo representada por 50 ADN de afrocolombianos no relacionados genéticamente; para ello se utilizó la técnica PCR-SSOP. Los siguientes alelos fueron los más frecuentemente expresados: HLA-A 02, A*2301, A*68011/12/02, A* 3001, CW*0302, C*0303, CW*04 y CW*08.

Conclusiones. Los resultados obtenidos sugieren una restricción genética de la susceptibilidad a ser infectado por este virus y podrían explicar la distribución geográfica y étnica de la infección causada por HTLV-II en estos grupos estudiados.

Palabras clave: HLA y HTLV-I, HLA y HTLV-II, HTLV-II infección, Colombia, epidemiología, MHC, PCR-SSOP, serología, HLA DRB1*, HLA-DQB1*, hibridación, polimorfismo.

Abstract

The infection caused by the HTLV-I/II viruses seems to have an ethnic and geographic distribution among Amerindians and other native populations worldwide. In Colombia, an endemic focus has been identified among the Afrocolombian populations inhabiting the south-east coast of the country, but not populations from Caribbean Coast.

A geographic and ethnic distribution of HTLV I and HTLV II infections appears to be mutually exclusive among native populations in the world. Other HTLV-II foci have been previously described among several native Amerindian groups in South America and Colombia. In order to investigate ethnic background of HTLV I/II infections, we conducted this study to associate the ethnic and geographic distributions of HTLV I/II infection to the genetic diversity of HLA. As a result, we analyzed the HLA-DNA polymorphism of DRB1* and DQB1* alleles in individuals from three different ethnic origins: mestizos, amerindians (wayuu) and two afro-colombian population from Palenque Bolívar, an endogamic subpopulation living near to Cartagena de Indias and from Baru a similar populations living in a island in front Cartagena de Indias. We also analyzed the association between the HLA-class I DNA polymorphism of HLA-A* and HLA-C* allele -types and the absence of HTLV-I/II infections among Afrocolombians involved in this study. Sera collected from 157 Wayuu Indians, 100 mestizos and 480 afro-colombians, were screening for HTLV I/II antibodies by using two different techniques: a passive agglutination test (PA, Serodia, Fujirebio, Tokyo) and a micro Elisa test (Murex, Enzyme immunoassay for detecting antibodies against HTLV I/II). All samples belonging to mestizos and afro-colombian people were negative; 11 Wayuus sera were tested by W-B giving us an overall HTLV II seroprevalence of 7%. HLA Class II DNA typing was performed in: 41 unrelated wayuu Indians, 75 mestizos and 100 afrocolombians for HLA-Class II. HLA DNA class I polymorphism was studied in a sample of 50 DNA representative of afro-colombians groups. The most frequent alleles in the wayuu Indians were DRB1* 0411 (46%), and DQB1* 0302 (83%). For HLA-Class I alleles the followings antigens were detective: HLA-A* 02, A*2301, A*68011/12/02 and HLA-A* 3001. For HLA-C* alleles the most frequency expressed were: CW*0302, C*0303, CW*04 and CW*08. These findings suggest a genetic and ethnic restriction of the susceptibility to be infected with this virus and also could explain the geographic and ethnic distribution of HTLV II infection in these groups.

Key words: HLA and HTLV-II, Infection and HTLV-II, Colombian, epidemiology, MHC, PCR-SSOP, serology, HLA DRB1*, HLA-DQB1*, hybridization, polymorphism.

Introducción

La epidemiología molecular se define como una transdisciplina que utiliza el análisis del acervo genético, tanto del hospedero como de un agente patógeno, para identificar factores de riesgo, que estudiados a nivel molecular, contribuyen al estudio de la relación medio ambiente-hospedero-agente patógeno y a la comprensión de la etiología, fisiopatología, y se aplican a la prevención de las enfermedades infecciosas y no comunicables (Dorman, J., 1994). Esta nueva área del conocimiento científico es un espacio transdisciplinario y de frontera entre la tradicional epidemiología y la biología molecular. Uno de los campos de investigación de esta nueva disciplina es la búsqueda de marcadores genéticos de resistencia y/o susceptibilidad en el desarrollo de enfermedades crónicas comunicables. Por ello, en inmunogenética, el análisis molecular de las frecuencias de los antígenos HLA en diferentes subpoblaciones y su asociación con enfermedades infecciosas ha permitido emerger nuevos conocimientos en el campo de la etiopatogenia y la fisiopatología de estas enfermedades transmisibles (Gorodezky C *et al.*, 1994).

1.1. El Sistema genético del Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC)

Sus implicaciones médicas y antropológicas

El Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC) es un sistema de genes, los cuales codifican moléculas que proveen el contexto para el reconocimiento de antígenos por los linfocitos T. El MHC ocupa un segmento de 3.500 kb de ADN. Este conjunto génico codifica y controla la síntesis de glicoproteínas ubicadas en la membrana celular, las cuales se expresan en diferentes poblaciones de células inmunocompetentes. Estas glicoproteínas estructurales de membrana constituyen los Antígenos de Leucocitos Humanos -Sistema HLA- y están representadas por tres tipos de productos diferentes, uno del otro, codificados por diferentes clases de genes. Representan un conjunto de loci ubicados en el brazo corto del cromosoma 6, denominados HLA-A, HLA-B, HLA-C, HLA-E, HLA-F, HLA-G, HLA-D, HLA-DR, HLA-DP y HLA-DQ. Dentro de este complejo se ubican además los genes de los factores de las proteínas del sistema del Complemento: C2, C4 y Bf, así como los grupos sanguíneos Chido y Rogers. Otros dos loci, Glioxilasa 1 (GLO) y Fosfoglucomutasa 3 (PGM-3), se hallan ligados al sistema HLA (Robinson & Kindt, 1989). Es el sistema genético más polimórfico y muchos de sus genes se encuentran en desequilibrio de ligamiento. De otra parte, hoy en día está claro que existen muchos otros genes diferentes a este sistema, que se encuentra muy cerca de los

MHC, formando combinaciones particulares, las cuales, probablemente, contribuyen a la protección y/o al desarrollo de enfermedades humanas (Risch, N., 1990; Braciale, T.J. *et al.*, 1991). La principal función biológica de las moléculas del sistema HLA es el de presentar los péptidos inmunogénicos a los receptores de las diferentes subpoblaciones de los linfocitos T (TcR). Este sistema de reconocimiento es la base molecular de la respuesta inmune adaptativa, la cual protege al organismo y regula la función del sistema inmune. Una de las más características relevantes de los genes MHC es su asociación con enfermedades y su participación en la susceptibilidad o en la resistencia al desarrollo de ellas. De hecho, los genes MHC y sus productos, los antígenos HLA, no son los únicos en este fenómeno biológico. La resistencia y/o protección está determinada por otros sistemas genéticos y/o factores ambientales (Thorsby, E., 1995; Davies *et al.*, 1994). A la fecha, más de 550 entidades clínicas muestran asociación con los genes MHC (Thorsby, E., 1997).

El MHC provee una herramienta de análisis complementario al ADN mitocondrial (mtADN) (Klein, J., 1986). Su alto grado de polimorfismo en poblaciones humanas (Klein, J. *et al.*, 1993) y el hecho de que éste sufra cambios en una forma relativamente lenta (Imanishi, T. *et al.*, 1991) lo hacen el instrumento ideal para identificar marcadores genéticos compartidos por poblaciones relacionadas ancestralmente. Los marcadores del MHC han sido usados para estudiar las relaciones existentes entre grupos étnicos humanos y para identificar migraciones (Gorodezky, C. *et al.*, 1985), incluyendo las de los amerindios (Cerna, M. *et al.*, 1993; Dueñas Barajas *et al.*, 1993), así como para buscar genes de susceptibilidad al desarrollo de enfermedades autoinmunes, alérgicas o infecciosas (Khare, S.D. *et al.*, 1998; Lara-Márquez, M.L. *et al.*, 1999; McMichael, 1997; Rose, N.R., 1998).

Otra característica de suma importancia del sistema HLA es la presencia de un desequilibrio de enlace entre alelos de un loci, lo cual se manifiesta en el hecho de que dichos alelos se hereden juntos en forma preferencial. El desequilibrio de enlace génico puede ser consecuencia de la selección natural entre una combinación génica específica. También puede ser debido al hecho de que la población está en un estado de transición y no ha alcanzado aún el equilibrio (Dubey, D.P., 1993). Se ha sugerido que la recombinación de frecuencias depende no sólo de la distancia física entre los alelos sino también de la presencia de regiones que faciliten o inhiban dicho intercambio (Fernández-Viñas, M. *et al.*, 1991; Stranick, K.S. *et al.*, 1990). Estos sitios de recombinación pueden ser identificados a partir del análisis de los haplotipos, y

muestran ser característicos de ciertos grupos de alelos (Stranick, K.S. *et al.*, 1990).

Los alelos de ciertos loci se asocian con más de un alelo de un segundo locus, y en algunos casos muestran inclusión completa indicando un fuerte desequilibrio de enlace; éste es el caso de algunos DQA1 con la mayoría de los alelos DRB1; ésto probablemente se deba a una proximidad física entre estos loci (Gorski, J., 1989). Cuando ciertos alelos DRB1 despliegan más de una asociación con DQA1, se encuentran diferentes asociaciones con DQB1. Estas asociaciones múltiples y similares entre DQA1 y DQB1 se deben a ciertas recombinaciones entre DQA1 y DQB1 que no se dan al azar (Fernández-Viñas, M. *et al.*, 1991). Se ha propuesto que la diversidad de los genes de Clase II se ha generado por conversión genética, mutación y mecanismos de recombinación (Gorski, J., 1989; Gregersen, P.K. *et al.*, 1988; Hurley, C.K. *et al.*, 1989). Si se consideran la homología de la secuencia de ADN y la asociación de los alelos de diferentes loci, se puede postular que algunos haplotipos ancestrales divergieron por conversión génica de forma tal, que se generaron nuevos alelos. Posteriores eventos de recombinación dan lugar a la diversidad de haplotipos (Gorski, J., 1989).

El estudio y el análisis molecular del MHC es una herramienta de gran valor para trazar las migraciones humanas, definir el grado de mestizajes, así como explorar el impacto epidemiológico en las diferentes poblaciones. Los genes que controlan el sistema de HLA son marcadores de la individualidad y representan una ayuda en la genética de poblaciones, para la antropología y en el estudio de aquellas enfermedades con trasfondo genético (Gjertson, D.W. *et al.*, 1998).

1.2. La complejidad de los grupos étnicos colombianos

Colombia es un país cuya población en su carga génica está constituida por un mosaico de grupos étnicos, representados por las diferentes tribus indígenas, cuyos ancestros fueron los primeros pobladores del continente; por afrocolombianos, quienes constituyen el 30% de la población actual, y los mestizos, que representan la mayoría de los colombianos (Arango, R. & Sánchez 1988; Silvera-Redondo, C. *et al.*, 2000). La llegada de los españoles en 1492 al continente americano trajo consigo la carga étnica de europeos, con ancestros caucásicos y árabigos, que al cruzarse con los nativos originó el grupo étnico mestizo. Posterior a la conquista europea, los españoles, ante la supuesta debilidad del nativo para el trabajo, desembarcaron en las costas oleadas de esclavos negros provenientes del África, los cuales luego de la abolición

de la esclavitud en 1851 formaron sus palenques en zonas aledañas a la costa. Estos grupos se cruzaron con indígenas, y dieron origen un conglomerado humano conocido como mulato, que se ubicó preferencialmente en los departamentos de los dos litorales, atlántico y pacífico (Gutiérrez, I., 1986).

1.3. La etnia wayúu en la península de La Guajira

La península de La Guajira está localizada al norte del macizo de la Sierra Nevada de Santa Marta, así como de los Montes de Oca y entre el mar Caribe al noroeste y el Golfo de Coquibacoa al este. Los primeros pobladores de la región Caribe fueron cazadores que buscando expansión de sus territorios llegaron a través de Panamá (Bryan, A. *et al.*). Algunos permanecieron en las selvas tropicales del noroccidente de Colombia, otros penetraron los valles andinos, y otros grupos se movilizaron hacia el nororiente, a lo largo de la costa caribe. No se han encontrado vestigios de estos primeros habitantes en La Guajira, dado que hoy en día la mayor parte de las tierras están ocupadas por el mar (Olier, J.R., 1990).

En la península se distinguen dos regiones: la Alta Guajira (*wuinpuman*), hacia el este, y la Baja Guajira (*wopumuin*), hacia el oeste y sudoeste. En la actualidad, estos indígenas no se hallan distribuidos en su territorio tradicional; Nazareth, por ejemplo, posee la más alta densidad poblacional indígena, al igual que los alrededores de Uribia, la serranía de Jala'ala y las sabanas de Wopu'muin y los municipios de Maicao y Manaure (Vergara, G.O., 1990).

Actualmente, sus pobladores, los indígenas wayúu, ocupan un territorio de aproximadamente 15.000 km², de los cuales 12.000 corresponden a Colombia y comprenden los municipios de Maicao, Uribia y Manaure, Bahía Portete, Nazareth y Puerto Estrella. Los 3.380 km² restantes, pertenecen al Distrito Páez, Estado Zulia, Venezuela (Vergara, G.O., 1990).

El primer contacto de los indios americanos con europeos no ocurrió sino hasta 1492, cuando Colón descubrió a América; sin embargo, algunos investigadores sugieren que hubo viajes de grupos europeos altamente civilizados de Europa, Asia y África antes de ese primer contacto con los europeos. No obstante, a partir de la llegada de los españoles a la isla Hispaniola (hoy República Dominicana) se generó lo que históricamente se conoce como la Conquista. Los recién llegados encontraron indígenas con culturas diversas, y en su afán evangelizador, así como tentados por las riquezas que ofrecían las nuevas tierras, empezaron paulatinamente con un programa devastador

para los indígenas, que fueron diezmados o transculturizados (Gorodezky, C., 1995).

1.4. Sinopsis histórica de la migración y el asentamiento de etnias africanas en Colombia

Una de las consecuencias más importantes de la conquista de América por parte de los imperios europeos fue la migración masiva y forzosa de millones de africanos trasladados al continente americano para desempeñarse como mano de obra en toda clase de actividades productivas. En casi cuatro siglos (1492-1898), 14 millones de hombres y mujeres, según los cálculos más conservadores, fueron conducidos desde el África a América en condición de esclavos. A raíz de la prohibición de esclavizar indígenas, decretada por la corona española en todo el Nuevo Mundo, se estableció la trata de negros africanos, los cuales eran traídos principalmente de las remotas posesiones portuguesas del África Ecuatorial, procedente de las sociedades Fanti, Ashanti, Bakongo, Herero y Kromati (Lemaitre, E., 1983).

Fue durante el siglo XVII que Cartagena, y Veracruz (México) se convirtieron en puertos habilitados en todo el Caribe para la introducción de esclavos y los más grandes mercados negreros del Nuevo Mundo. Desde Cartagena, se distribuían estos esclavos hacia Venezuela, las Antillas, el Nuevo Reino de Granada y Perú, que era donde más demanda había para el trabajo de las minas. El conocimiento de la composición genética y los lugares de origen de los descendientes de la población negra africana que ingresó a América durante el comercio de esclavos en los siglos XVI y XIX, reviste interés científico por sus repercusiones históricas, sus implicaciones antropológicas y médicas. Esta información se ha obtenido tradicionalmente a través de investigaciones socioantropológicas y lingüísticas hechas tanto en América como en África. En los últimos años dicha estrategia se ha fortalecido con la búsqueda de marcadores genéticos, especialmente del sistema de antígenos de histocompatibilidad del humano (HLA), efectuada también en poblaciones de ambos continentes. Según el exhaustivo estudio del filólogo e historiador Nicolás del Castillo, durante la mayor parte del siglo XVI hubo un predominio de esclavos de Guinea, Cabo Verde y Sierra Leona, al noroccidente de África centrooccidental, es decir, las minas de Araras y Carabalis. Los esclavos rebeldes se escapaban. Muchos crearon comunidades independientes en lugares escondidos y aislados llamados palenques; uno de ellos lo constituye Barú y el otro San Basilio de Palenque. Todavía estos grupos preservan su identidad y poco intercambio genético. Ellos proveen un buen modelo para estu-

dios evolutivos entre poblaciones africanas y afroamericanas (Kelin, H., 1986).

1.5. Algunos aportes de la antropología y la arqueología genética

La arqueología genética y las evidencias lingüísticas sugieren que en la población del nuevo continente ocurrieron por los menos tres olas migratorias (Greenberg, J. *et al.*, 1986; Salzano, F. *et al.*, 1988). Estas se identifican como: la migración paleoindia, la Na-denno y la Skimo-Aleut; la más antigua y con mayor expansión geográfica es la Paleo-India, cuyos descendientes llegaron a poblar la mayor parte del continente americano. Las últimas migraciones generaron principalmente el asentamiento de poblaciones en Norteamérica (Salzano, F. *et al.*, 1988).

Evidencias arqueológicas y genéticas ubican el establecimiento del hombre americano en el continente en el periodo mesolítico, hace 20.000 a 40.000 años. Se sitúa en esta época la ocurrencia de la primera migración a través del estrecho de Behring utilizando como puente natural las islas Aleutianas. A partir de esta migración, denominada paleoindia, se produjo un movimiento de individuos descendientes de estos primeros colonizadores hacia las tierras más bajas del continente americano, lo cual permitió el asentamiento de las migraciones en América del Norte, Centro y Sur América, constituyendo la mayoría de los nativos americanos (Greenberg, J. *et al.*, 1986; Williams, R.C. *et al.*, 1985). Esta migración se produjo con anterioridad a la evolución del tipo mongoloide especializado de Siberia y fue la que aportó la mayor parte de la población del nuevo mundo (Sanders, W.T. & Marino, 1969). A partir de ella se originaron grupos lingüísticos bien definidos como Macro-caribe-ge, Macro-arawak, Macro-quichua y Macro-maya. La segunda migración se calcula que ocurrió hace 7.000 a 15.000 años y en ella arribó el tipo mongoloide al continente americano, trayendo a los hoy catalogados como Nadenno. Posterior a ésta se produjo el último movimiento migratorio hace 3.000 a 5.000 años conocido como Skimo-Aleut (Schobinger, J., 1969).

La evidencia genética que sostiene la veracidad de la existencia de múltiples olas migratorias ha sido principalmente obtenida a través del análisis de ADN mitocondrial (mtADN) y la variación de la región D-loop. Los datos que se tienen acerca del mtADN sugieren la presencia de cuatro haplogrupos entre los amerindios (Horai, S. *et al.*, 1993; Merriwether, D.M. *et al.*, 1995). Sin embargo, el estudio del mtADN deja por lo menos dos preguntas abiertas. Primero: ¿Cómo es que individuos pertenecientes a diferentes olas migratorias pueden compartir los cuatro tipos de

mtADN?, y segundo: ¿Pueden ser identificados los grupos étnicos que fueron la fuente de las migraciones? Debido a que las regiones D-loop evolucionan rápidamente, no está claro hasta qué punto las variaciones de los mtADN observadas en los amerindios expliquen las migraciones en América. Del análisis de los haplotipos del mtADN de Siberia se revelan algunas afinidades con haplotipos amerindios, pero éstas son insuficientes para identificar fuentes siberianas para cada uno de los haplotipos (Salzano, F. *et al.*, 1988).

1.6. La asociación de la infección por los virus HTLV-II con la migración ancestral de los amerindios

Los virus que infectan los linfocitos T humanos HTLV-I/II se encuentran estrechamente relacionados con los oncovirus en la familia *retroviridae* (Wong-Staal, F. & Gallo, R.C., 1985). En contraste con el conocimiento que se tiene acerca de la infección por HTLV-I, es poco lo que se conoce en relación de la historia natural y la patogénesis del HTLV - II (Tajima, K. & Inuma, Y., 1992). El origen de los virus y las vías de diseminación de estos alrededor del mundo aún están por aclararse. Algunos estudios iniciales conllevaron a la presunción científica de que el HTLV-I era un virus proveniente del Viejo Mundo y que el HTLV-II era originario del continente americano (Hjelle *et al.*, 1993; Biggar, R.J. *et al.*, 1992). Sin embargo, resultados de investigaciones recientes, en las cuales se encontraron focos de infecciones por HTLV-II en los pigmeos del Zaire, en habitantes de Camerún y en varios países de centro y del oeste africano, han generado dudas científicas a cerca del origen de este último virus (Goubau, P. *et al.*, 1993; Gessain, A. *et al.*, 1994).

La infección por HTLV-I es endémica en Malasia, Japón, el Caribe y el África Sub-sahariana (Kaplan, J.E. & Khabbaz, R.F., 1993). Los estudios de seroprevalencia han demostrado que la infección por HTLV-II además de ser endémica en los amerindios está presente en otras subpoblaciones tales como en drogadictos de los Estados Unidos de Norteamérica, Italia, España, Francia, Noruega e Inglaterra (Hjelle *et al.*, 1993).

Desde que fue descubierta la infección viral de los linfocitos T humanos causada por los virus HTLV -I y HTLV-II, varios estudios epidemiológicos han demostrado una alta prevalencia de infección por el virus del HTLV - II en amerindios de Norte, Centro y Sur América (Dueñas-Barajas, E. *et al.*, 1993). La teoría que sostiene que el HTLV-II es un nuevo virus originario del continente americano podría ser explicada, en parte, por el hecho de que varios grupos nativos en el Nuevo Mundo presentan una alta seroprevalencia de esta infección. Esto se ha identificado

entre las poblaciones navajo de Nuevo México, seminola de la península de La Florida (Levine, P.H. *et al.*, 1993), guayami de Panamá (Reeves, W.C. *et al.*, 1990), cayapo y kraho de Brasil (Maloney, E.M. *et al.*, 1992), e inga y emberra-waunana y wayúu de Colombia (Zaninovic, V. *et al.*, 1994; Egea, E. *et al.*, 1999). Estos últimos pertenecientes a la familia lingüística de los arahuacos y a familias chibchas. Estos hallazgos fundamentan el criterio de que esta infección viral es ancestral, y la susceptibilidad a ella probablemente está determinada genéticamente. La demostración de la alta endemicidad de la infección por HTLV - II en los indígenas de América, contrasta con evidencias actuales que demuestran la ausencia de la misma en la región Norte de Siberia. Contrastan estos hallazgos con el hecho de que la infección por HTLV-II está presente en los grupos de Mongolia y en el sudeste de Siberia (Neel, J.V. *et al.*, 1994).

1.7. Asociación de HLA y la infección por los virus HTLV-I/II

Desde los primeros años de la década de los setenta se conoce que la linfoproliferación espontánea de linfomononucleares de sangre periférica provenientes de pacientes infectados por el virus HTLV-II se encuentra influenciada y modulada por las moléculas HLA-DR de estos linfocitos infectados y que anticuerpos mononucleares contra estos antígenos son capaces de inhibir dicha proliferación (Lal, R.B. *et al.*, 1992).

También se conoce que las diferentes manifestaciones clínicas producidas como resultado de la infección por el HTLV-I (mielopatía asociada a la infección por HTLV (HAM) y paraparexia espástica tropical (TSP)) sólo se presentan en el 1-2% de los individuos infectados. Se postula que la susceptibilidad al desarrollo de HAM/TSP pudiera depender de la inmunocompetencia del hospedero y, por consiguiente, estaría modulada y regulada por el polimorfismo de los genes MHC. Con relación a lo anterior se ha descrito una asociación entre la expresión del antígeno HLA-A*02 y una carga viral baja en individuos seropositivos para HTLV-I en poblaciones japonesas. Estudios posteriores llevados a cabo en la misma población mostraron que los individuos que expresan HLA-A* 02 y/o HLA-A* 08 tienen menos riesgo relativo de desarrollar HAM / TSP. En las personas seropositivas para HTLV-I a quienes se les ha documentado una permanente carga viral baja se ha evidenciado una heterozigocidad entre los tres loci de los antígenos HLA clase - I, lo que ha conllevado a hipotetizar que existe una influencia de los antígenos HLA clase I en la susceptibilidad y el desarrollo de las enfermedades inflamatorias producidas por este virus. Este

proceso biológico estaría dado por una respuesta de linfocitos T citotóxicos (Jeffery, K.J., 2000).

Zaninovic y col. y Fujiyama y col. demostraron que las infecciones producidas por los virus HTLV I/II se encontraban en los habitantes de las alturas de los Andes y de las planicies del valle del río Orinoco en forma endémica, y que estas infecciones se excluyeron mutuamente. Posteriormente Toshinobu y col. demostraron una restricción étnica y geográfica de las infecciones por los virus HTLV-I y HTLV-II en los amerindios y que esta restricción estaba asociada con los haplotipos HLA-DR y HLA-DQ (Fujiyoshi, T. *et al.*, 1995).

Este estudio fue realizado con el propósito de investigar la relación existente entre la infección producida por los virus HTLV-I y HTLV-II y el polimorfismo genómico de los antígenos HLA clase II en tres diferentes grupos étnicos del litoral norte colombiano: El primero de ellos, los wayúus, (amerindios), habitan la península de La Guajira; el segundo grupo, los afro-colombianos estudiados, son habitantes de Palenque y Barú, corregimientos cerca al municipio de Arrenal (Bolívar) y a la ciudad de Cartagena de Indias, ambos pertenecientes a la misma área geográfica del litoral caribe colombiano; el tercer grupo étnico estudiado fueron los mestizos de la ciudad de Barranquilla. La distribución y prevalencia de esta infección en el litoral norte de Colombia no había sido bien estudiada.

Los resultados encontrados en este estudio fueron muy significativos. La frecuencia genética con que se expresan los alelos HLA clase I y clase II y la frecuencia de los haplotipos HLA-DR / DQ, en particular en el grupo de los indígenas infectados, son similares a los resultados obtenidos en estudios de asociación de este grupo de genes en sujetos infectados, representativos de poblaciones asiáticas, africanas y del Nuevo Mundo (Petzl-Erler, M.L., Gorodezky, C., Layrisse, Z., Klitz, W., Fainboim, L., Vullo, C., Bodmer, J.G., Egea, E., Navarrete, C., Infante, E., Alaez, C., Olivo, A., Debaz, H., Bautista, N., Rosa, G. de la, Vazquez, M.N., Navarro, J.L., Pujol, M.J., Duran, C., Schafhauser, C., Garavito, G., Ángel, L. *et al.* 1997). Nuestros resultados sugieren que factores étnicos y genéticos restringen la susceptibilidad al desarrollo de esta enfermedad en estos grupos étnicos estudiados. Además confirman estudios previos llevados a cabo por nuestro grupo (Egea E. *et al.* 1999) y por otros investigadores en relación con el origen ancestral de los indígenas de esta área de Colombia, y los ubican en la región de Mongolia, Manchuria, el extremo sudeste de Siberia (Neel, J.V. *et al.*, 1994).

2. Materiales y método

2.1. Población a Estudiar

En este estudio se analizaron un total de 1.577 muestras biológicas (sueros) pertenecientes a tres diferentes grupos étnicos asentados en el litoral caribe. De ellos, 840 fueron mestizos, mezcla poblacional que habita en el casco urbano de la ciudad de Barranquilla, localizada al norte de Colombia; 580 afrocolombianos, ubicados en Barú y Palenque, pertenecientes a la misma área del Caribe colombiano, y 157 amerindios wayúus, habitantes del Cabildo de la Paz, asentamiento en la península de La Guajira. Todos los individuos que ingresaron a este protocolo fueron informados previamente de los objetivos del proyecto, y se obtuvo, así mismo, de cada uno de ellos su consentimiento en un formato establecido en el protocolo del estudio.

También se obtuvieron muestras de ADN de los sujetos involucrados en este estudio. Un total de 41 muestras de ADN de amerindios, 61 de mestizos y 150 de afrocolombianos se utilizaron para el estudio inmunogenético de estas subpoblaciones étnicas. Estos sujetos no se encontraban relacionados familiarmente y fueron escogidos al azar.

Las muestras de sangre obtenidas fueron colocadas inmediatamente a 4° C, para luego ser transportadas a las instalaciones del Laboratorio de Inmunología y Biología Molecular de la Universidad del Norte, donde fueron separadas, alícuotadas y almacenadas a -40 C° hasta el momento en que fueron sometidas a las pruebas correspondientes.

La obtención de las muestras de suero y de ADN incluidas en este estudio formó parte del trabajo de investigación del componente antropológico de la 12ª Conferencia Internacional de Histocompatibilidad (12 IHWS) (Petzl-Erler M.L. *et al.* 1996) y del VI Taller de la Sociedad Latinoamericana de Histocompatibilidad y Transplante (Martínez, B., Blank, M., Egea, E., Garavito, G. *et al.*, 2000).

2.2. Pruebas serológicas

Las muestras fueron inicialmente sometidas a tamizaje serológico por triplicado, con el objeto de identificar anticuerpos IgG contra los virus HTLV-I/II. Esto se hizo con la prueba de aglutinación pasiva (PA-Serodia HTLV I/II-Fujirebio, Tokio, Japón). Todas las muestras de suero también fueron estudiadas usando microelisa (Murex Diagnostics), y aquellas que resultaron positivas fueron reconfirmadas con la prueba Western Blot (WB) específica para HTLV-I/II. Inicialmente estas muestras fueron evaluadas utilizando la técnica de Problot HTLV-I; Fujirebio,

Japón. Todas las muestras que mostraron reactividad a las glucoproteínas P24 y P19 fueron consideradas positivas para HTLV-I. Para determinar si la infección fue causada por HTLV-II, se utilizó una prueba diferencial de *Western Blot*: Gene Labs, WB 2.4, USA; ésta incluye una proteína recombinante HTLV-II gp46-II, la cual es una proteína única recombinante de la cápsula del virus HTLV-II.

2.3. Oligotipificación genómica de los antígenos HLA clase I

2.3.1. Extracción y estandarización del ADN

El ADN se obtuvo mediante el procedimiento del *salting out*, procedimiento de extracción de ADN humano de leucocitos de sangre periférica (Pertzl-Erler *et al.*, 1996). La concentración de ADN estandarizada para la amplificación fue de 5 µg/ul.

2.3.2. Tipaje molecular de los antígenos HLA clase I

2.3.2.1. Amplificación del DNA por la reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

Se realizaron las amplificaciones según los protocolos establecidos en el *VI Taller Latinoamericano de Histocompatibilidad en Cartagena en 1998* (Martínez, B. *et al.*, 2000). La única modificación fue el adicionarle DMSO a la mezcla de la master mix de la PCR.

2.3.2.2. Dot blot y marcaje de las sondas

Los productos obtenidos por PCR y que luego fueron confirmados como positivos por electroforesis se transfirieron en membranas (Boehringer Mannheim) y luego fueron fijadas con luz UV (*cross linked*). Las sondas fueron marcadas con 11-digoxigenina-UTP de acuerdo con el protocolo establecido (Middleton *et al.*, 1995; Middleton, D. *et al.*, 2000).

2.3.2.3. Prehibridización e hibridización

Después de ser prehibridizadas las membranas se les adicionó luego las sondas y se incubaron toda la noche. Luego fueron sometidas a los lavados de astringencia recomendados en el *Protocolo del VI Taller Latinoamericano de Histocompatibilidad*; la hibridización se visualizó usando el procedimiento de quimioluminiscencia. Las membranas fueron humedecidas por rotación en el Buffer 1. Luego se incubaron con una solución Bloqueadora (Blocking Reagent, Boehringer Mannheim), a diferentes temperaturas, según el protocolo lo sugería (una temperatura para cada sonda). Se adicionó un anticuerpo Anti-Dig, y luego de este procedimiento se incubaron por una hora. Seguidamente se le adicionó CSPD (Boehringer

Mannheim) y se incubaron por 5 minutos. Más adelante se expusieron a filminas X-ray Kodak x-OMAT KXX-I (Middleton *et al.*, 1995; Middleton, D. *et al.*, 2000).

2.4. Oligotipificación genómica de los antígenos HLA clase II

2.4.1. Tipaje molecular de los antígenos HLA clase I

Los locis HLA-DRB1*, DQB1* se tiparon utilizando las técnicas descritas en el protocolo del taller: 12 IHWS. La amplificación genómica (PCR-SSOP) se llevó a cabo utilizando el grupo de iniciadores definidos por este taller, en breve: 0.5 µg de ADN genómico en un volumen de 100 µl se utilizó para cada amplificación específica y se sometió a 30 ciclos de PCR en un termociclador (PTC - 100™, MJ Research Inc). Las condiciones de la amplificación se llevaron a cabo de acuerdo con las referencias del protocolo. Un grupo de dieciocho muestras de ADN distribuidas por el workshop y diez muestras de DNA locales seleccionadas sirvieron como controles para la oligotipificación de los locis HLA-Clase-II estudiados. Rutinariamente, los productos de PCR obtenidos fueron evaluados por electroforesis en gel de agarosa al 1%. La hibridización de los productos de PCR se llevó a cabo sobre membranas de nylon (Hybond, Amersham International, UK). Posteriormente, fueron inmovilizadas por desnaturalización alcalina usando una solución de hidróxido de sodio 0.4 N, seguido por una neutralización con SSPE 10X durante 10 minutos a temperatura ambiente. Las membranas fueron prehibridizadas durante una hora, y fueron colocadas durante 10 minutos en el buffer de hibridización recomendado por el protocolo a 54 °C. Posteriormente, fueron nuevamente hibridizadas con sondas marcadas con digoxigenina-ddUTP obtenidas de Boehringer Mannheim, y la detección se llevó a cabo por quimioluminiscencia, utilizando para ello antidigoxigenina marcada con fosfatasa alcalina. Finalmente, se lavaron en 2X SSPE, y posteriormente se expusieron a una película de rayos X a temperatura ambiente, y la autorradiografía fue interpretada de acuerdo con los grados definidos por el protocolo del workshop.

2.5. Análisis estadístico

La recolección de los datos provenientes de cada uno de los pacientes fue sentada en un registro individual creado para tal efecto, en el cual estuvieron incluidos todas las variables consideradas en el estudio. Los resultados individuales fueron recolectados en un banco de datos diseñado y elaborados utilizando las siguientes programas "Filemaker 2.0", el BMDP 1.0 para windows y el Epiinfo Versión 6. Se utilizó un microcomputador Compaq Deskpro con procesador Intel Celeron con 64 MB Ram.

El análisis estadístico de cada antígeno en una población dada permite evaluar si hay diferencias entre las poblaciones estudiadas. Las comparaciones se hicieron para cada antígeno HLA entre la población sana y enferma; para ello se calcularon los siguientes parámetros:

2.5.1. Frecuencia antigénica o alélica (FA)

Es la proporción de sujetos del total que son portadores de un determinado antígeno. Se calcula en porcentajes. La estimación de este parámetro se hace contando el número de veces que un alelo dado aparece en una población, dividiendo por el número total de alelos encontrados en esa misma población y multiplicando por 100.

$$FA = (a/N) \times 100$$

a = Número de veces que aparece un determinado alelo en la población en estudio

N = Número total de alelos presentados en la población en estudio

2.5.2. Frecuencia génica

Se calcula a partir de la FA. Esta se toma en números absolutos mediante la fórmula de Haldane y multiplicando por 100:

$$FG = 1 - \sqrt{1 - A}$$

A = FA en números absolutos, Ej: si la FA = 12,7% A = 0.127

La significancia estadística de la asociación del alelo HLA -DQB1* 0302 se calculó mediante una prueba del Chi cuadrado (X^2) con base en una tabla del 2 X 2.

Con el propósito de analizar una posible relación entre las cargas génicas de nuestros grupos afrocolombianos y africanos residentes en el occidente de África, se hizo un análisis comparativo de las frecuencias alélicas entre los antígenos HLA clase I que tuvieron una mayor frecuencia de expresión y las frecuencias previamente descritas de aquellas subpoblaciones africanas. Para ello, se utilizaron los datos publicados en *XII Taller Internacional de histocompatibilidad* (Pertz-Erler M.L. et al. 1996).

3. Resultados

De las muestras de sueros pertenecientes a los 840 mestizos y de los 580 sueros afro-colombianos, ninguna resultó positiva para la infección causada por HTLV-I y HTLV-II. Siete de ciento cincuenta y siete muestras pertenecientes a los indígenas wayúus resultaron positivas, todas ellas fueron evaluadas por *Western Blot* y todas evidenciaron un patrón perteneciente al del virus HTLV-II (tabla 1).

En la población estudiada de amerindios wayúus (41 sujetos), los alelos HLA-DRB1* más frecuentes fueron: DRB1* 0411, el cual se expresó con frecuencia génica 0.259; y DRB1*0407, con frecuencia génica 0.173. El polimorfismo de DQB1* se encontró restringido, y sola-

Tabla 1. Distribución y frecuencia del Alelo HLA-DQB1* 0302 en tres grupos étnicos del caribe colombiano y su asociación con la seropositividad para HTLV-II.

GRUPO ÉTNICO Suero	No. ADN	NÚMERO DE CASOS SEROLÓGICAMENTE POSITIVOS (%)				F.G. HLA-DQB1*0302
		PA	Microelisa	W-B RPG-46I (*)	W-B RGP-46II (**)	
WAYÚU	157	7%	7%	0	7%	0.480
	41					
MESTIZOS	84	0%	0	0	0	0.125
	75					
AFROCOLOMBIANOS	580	0%	0	0	0	(-)
	100					

(*) Específico para HTLV-I

(**) Proteína específica del HTLV-II.

mente tres alelos se expresaron, siendo los de mayor frecuencia genética: DQB1*: 0302 (0.480), 0402 (0.289) Y 0301 (0.135) (tabla 2).

Es relevante el hecho de que todos los 10 wayúu que resultaron ser portadores asintomáticos del virus HTLV II expresaron el alelo genómico HLA DQB1 0302. Sin embargo, en el grupo de los amerindios seronegativos (Neel, J.V. *et al.*, 1994) este alelo también se expresó (Frecuencia alélica 77.4 %) ($p = 0.05$) (tabla 3). No hubo asociación significati-

va entre los alelos DRB1* y los wayúu portadores de HTLV-II. El alelo HLA DQB1*0302 no se expresó en ningún individuo del grupo étnico afrocolombiano estudiado, y la frecuencia de expresión de este alelo no tuvo una significancia estadística en la población mestiza ($FG = 0.125$ comparada con la de los amerindios de 0.480 (tabla 2). En los indígenas wayúu, el haplotipo DRB1* 0411 DQB1* 0302 fue el más frecuente (80%), seguido por 0403 - 0302 (37%). Este haplotipo no se expresó en la población de afrocolombianos y no fue significativa en los mestizos (tabla 3).

Tabla 2. Frecuencia génica de los Alelos HLA DRB1* Y DQB1* que se expresan con mayor frecuencia en tres diferentes grupos étnicos del área caribe colombiana y su asociación con la infección por HTLV-II

	MESTIZO N=61	WAYÚU N=41	AFROCOLOMBIANO N=100	HTLV-II
ALELO DRB1*				
0401		0.040		(-)
0403	0.016	0.015		(+)
0404		0.020		(-)
0405		0.020		(-)
0407		0.173		(+)
0411		0.259	0.006	(+)
11	0.123			(-)
1501	0.057	0.060	0.050	(-)
1602	0.130	0.014	0.0006	(-)
ALELO DQB1*				
0201	0.176	0.019	0.078	(-)
0301	0.223	0.135	0.050	(-)
0302	0.125	0.480		(-)
0402	0.047	0.289		(-)
0602	0.0105		0.020	(-)

1. Datos modificados del XII Taller Internacional de histocompatibilidad y trasplante (Petzl-Ester, M.L., Gorodezky, C., Layrisse, Z., Klitz, W., Fainboim, L., Vullo, C., Bodmer, J.G., Egea, E., Navarrete, C., Infante, E., Añez, C., Olivo, A., Debaz, H., Bautista, N., Rosa, G. de la, Vázquez, M.N., Navarro, J.L., Pujol, M.J., Durán, C., Schafhauser, C., *et al.*)

Tabla 3. Distribución y frecuencia de algunos Haplotipos HLA-DRB1* DQB1* entre amerindios portadores del virus HTLV-II. Comparación con los otros grupos estudiados

Haplotipo DRB1*-DQB1*	WAYÚU(+) N=10	WAYÚU(-) N=3	AFROCOLOMBIANO N=100	MESTIZOS(-) N=75
0401-0302	(-)	2(5%)	(-)	(-)
0403-0302	3(30%)	7(7%)	(-)	(-)
0404-0302	(-)	1(2.5%)	(-)	(-)
0407-0302	2(20%)	5(12.5%)	(-)	(-)
0411-0402	(-)	9(22.5%)	(-)	(-)
0411-0302	5(50%)	12(30%)	(-)	(-)
1501-0602	(-)	2(5%)	6(7.5%)	(-)
1602-0302	(-)	2(5%)	(-)	(-)

(+) = Seropositivos (-) = Seronegativos N = Número de individuos estudiados

* Los haplotipos DRB1*/DQB1* 0403-0302, 0407-0302, 0411-0302 asociados a la seropositividad para HTLV-II, no se expresan en los grupos afrocolombianos y mestizos.

Se destaca que estos haplotipos incluyen el alelo HLA-DQB1* 0302.

En relación con la oligotipificación de los antígenos HLA clase-I en los 50 afrocolombianos del corregimiento de Santana del municipio de Pasacaballo en la isla de Barú, se encontró que entre los alelos del loci HLA-A* los más frecuentemente expresados fueron el: HLA-A*02, HLA-A*2301, HLA-A*6801, HLA-A30. Para el Loci HLA-C, los que más se expresaron fueron: HLA-CW*0302, HLA-CW*0303, HLA-CW*0403, HLA-CW*01, HLA-CW*07, HLA-CW*08 y HLA-CW*15. Los antígenos HLA-CW*0302, 0303 y HLA-CW*08 fueron los que más frecuentemente se expresaron (Tabla 5).

El análisis comparativo de las frecuencias alélicas entre afrocolombianos de la isla de Barú y las tres subpoblaciones del occidente africano utilizadas, permiten sugerir que los ancestros de las poblaciones afrocolombianas de la Costa Caribe provienen del África occidental (Tabla 6).

4. Discusión

La infección por los virus HTLV I y II está distribuida alrededor de todo el globo terráqueo, siendo endémica en

Tabla 4. Antígeno HLA-DQB1*0302 en amerindios Wayuu seropositivos PARAHTLV-II y otros grupos étnicos, su asociación con la seropositividad para HTLV-II

P	AFROCOLOMBIANOS (-)	WAYÚU (+)	MESTIZOS (-)	P
	N = 100	N = 10	N = 75	
0,0001	0%	100 %	0%	0,0001

N= Número de individuos estudiados

Tabla 5. Frecuencia génica de los Alelos HLA-A* Y HLA-C* más frecuentemente expresados en una muestra de una subpoblación afrocolombiana con ausencia de anticuerpos anti HTLV-III.

ALELOS HLA-A*	FRECUENCIA GÉNICA N=100	ALELOS HLA-C*	FRECUENCIA GÉNICA N=100
A*01	0,00522	C*0302	0,1912
A*0102	0,01575	C*0303	0,0342
A*02	0,04803	C*0304	0,0048
A*0201	0,01047	C*0403	0,0194
A*0203	0,00522	C*0602	0,0048
A*0205	0,00522	C*0702	0,0048
A*0214	0,03175	C*0704	0,0048
A*03	0,00522	C*1203	0,0048
A*0301	0,01575	C*1504	0,0096
A*1101/02	0,01575	C*1601	0,0096
A*2301	0,07017	C*1602	0,0048
A*2402/03/05	0,02639	C*01	0,0146
A*2404	0,00522	C*04	0,0444
A*2406	0,01047	C*07	0,0645
A*2407	0,00522	C*08	0,0243
A*2501	0,01575	C*15	0,0594
A*6801/012/02	0,04803	C*16	0,0146
A*6901	0,01575	C*17	0,0096
A*2901/02	0,01047		
A*3001	0,03175		
A*3002	0,01047		
A*3004	0,02105		
A*31012	0,01047		
A*3301/03	0,02105		
A*3401	0,00522		
A*3402	0,00522		
A*6601	0,01575		
A*7401	0,01575		

N= Número de alelos estudiados

Tabla 6. Análisis comparativo de frecuencias alélicas en afrocolombianos de la Isla Barú negativos para HTLV-II con tres subpoblaciones del occidente de África

ALELOS HLA-A*	GRUPO ÉTNICO				
	AMÉRICA		ÁFRICA (*)		
	AFROCOLOMBIANOS		MOSSI N=53	RIMAIBE N=47	FULANI N=49
N=100	F. ALÉLICA				
A*02	A*02	0.09375	0.037736	0	0
A*0207			0	0	0
A*23	A*2301	0.013542	0.09434	0.170213	0.132653
A*6801	A*6801/012/02	0.09375	0.09434	0.053191	0.030612
A*30	A*3001	0.07292	0.028302	0.021277	0.020408
CW*02			0.113208	0.095745	0.22449
CW*0302	CW*0302	0.3460	0.018868	0.010638	0.020408
CW*0303	CW*0303	0.0673	0	0	0
CW*04	CW*04	0.0870	0.226415	0.255319	0.071429
CW*0701/02/03	CW*07	0.1250	0.113208	0.148936	0.173469
CW*0704	CW*07	0.1250	0	0	0.010204
CW*08	CW*08	0.0481	0.037736	0.010638	0.020408
CW*15	CW*15	0.1154	0.028302	0.021277	0

Data del VII Taller Latinoamericano de Histocompatibilidad, Cartagena de Indias. Publicado en: 26 th Annual Meeting American Society for Histocompatibilities and Immunogenetics.

(*) HLA in sub-Saharan Africa; 12th International Histocompatibility Workshop SSAF report M.G. Hammond, et al. Pg. 345. Vol I. "Genetic Diversity of HLA Functional and Medical Implication", Dominique Charron.

el continente africano y en algunas regiones de norte y sur de América. Los porcentajes de prevalencia varían de 0 a 10% dependiendo de la región estudiada. Aunque el origen de los virus se considera que está ubicado en nichos ecológicos en África, esto necesita de estudios posteriores para su confirmación (Igarashi, T. et al., 1993).

En Colombia se han descrito focos endémicos de la infección por HTLV-I en comunidades de afro-colombianos de la región pacífica asentadas en Tumaco, Buenaventura y Cali. De otra parte, la infección con el virus HTLV-II ha sido detectada en varios grupos de amerindios tanto en el litoral caribe como en otras regiones del centro y sur del país (Dueñas-Barajas, E. et al., 1993).

La discusión acerca del origen de la primera ola migratoria hacia el continente americano a través del estrecho de Behring y la ruta que ellos tomaron en el este asiático ha intrigado a muchos científicos (Greenberg, J. et al., 1986; Cavalli-Sforza, L., 1991). En los últimos años, los resultados de varias investigaciones han arrojado algunas luces al respecto. En una de ellas se ha demostrado que el retrovirus HTLV-II está ampliamente distribuido entre los amerindios, y se presume que este virus haya tenido su origen en el Viejo Mundo. De otra parte, el virus se ha encontrado presente en poblaciones nativas propias de Mongolia, concretamente en tres tribus de la región ante-

riormente llamada República Mongólica. En este grupo de nativos, el polimorfismo del mtDNA (mitocondrial) es el perteneciente al haplotipo B, el cual es el mismo descrito en amerindios. Es necesario resaltar la ausencia de este virus en la región norte del este siberiano, donde el haplotipo B del polimorfismo del ADN mitocondrial (mtDNA) está ausente (Neel, J.V. et al., 1994).

Un segundo aporte, es el reconocimiento de que los estudios del polimorfismo del ADN mitocondrial ofrecen una herramienta de valiosa información en los estudios de la genética de población (Katahira, Y. et al., 1995). En este orden de ideas se sugiere que los ancestros de la primera ola migratoria hacia el Nuevo Mundo se originaron en la región central del este asiático, en una región llamada sudeste siberiano extremo, Mongolia / Manchuria (Neel, J.V. et al., 1994).

Con respecto a la presencia de HTLV-II en los amerindios -38 tribus aproximadamente examinadas hasta el momento- se afirma que en ellos la infección causada por el virus es endémica, y su amplia distribución implica que esta infección es muy antigua en estos grupos. Actualmente existe evidencia acumulada de que todas estas tribus en las cuales la infección por el virus HTLV-II ha sido documentada se pueden clasificar como paleoindios. De otra parte, las distribuciones étnica y geográfica de la infección cau-

sada por los virus HTLV-I / II se comportan como situaciones mutuamente excluyentes, fenómeno evidenciado en poblaciones nativas en varias partes del globo terráqueo. Los focos de infecciones causadas por HTLV-I son particularmente relevantes entre subpoblaciones de japoneses, habitantes tapúas de Nueva Guinea y amerindios, así como afro-caribeños y otros grupos negroides del Nuevo Mundo (Levine, P.H. *et al.*, 1993; Cleghorn, E. *et al.*, 1990; Navas, M. *et al.*, 1995). En Suramérica se ha descrito la infección por HTLV-II en habitantes de los Andes y del Valle del Orinoco en Suramérica, lo que ha permitido sugerir que la presencia de estas infecciones puede estar asociada con segregaciones étnicas en poblaciones indígenas y nativos en varias zonas del mundo (San Martín Barberi, C. & Román, C.G., 1995). En Colombia previamente se documentó en afrocolombianos del litoral Caribe la ausencia de marcadores de infección en nativos de Palenque (Navas, M. *et al.*, 1995). Resulta importante resaltar que nosotros no encontramos presencia de anticuerpos en un estudio piloto realizado en afro-colombianos del Pacífico Norte (Egea, E. *et al.*, 1998), validando resultados previos publicados por San Martín y colaboradores (San Martín Barberi, C. & Román, C.G., 1995). En este trabajo hemos confirmado la ausencia de marcadores serológicos de infección en individuos de los dos grupos étnicos más representativos del litoral Caribe colombiano y hemos observado una selecta distribución de portadores para el virus HTLV-II sólo en los indígenas wayúus de la península guajira en la región colombiana. En ninguno de los 157 sueros provenientes de los indígenas wayúus examinados nos fue posible detectar portadores seropositivos para el HTLV-I, lo que confirma la exclusión mutua de las infecciones HTLV-I y HTLV-II, respectivamente. Se destaca que ninguna de las 840 muestras serológicas de los mestizos ni de los 580 sueros de los afrocolombianos resultaron positivos para las infecciones causadas por HTLV-I / II.

La ausencia de portadores de la infección por HTLV-I y II en los otros dos grupos (afrocolombianos y mestizos) nos permite sugerir la presencia de factores de especificidad genética en estas subpoblaciones que podrían explicar una posible resistencia a la infección. Todos los portadores HTLV-II del grupo de amerindios expresaron el alelo HLA DQB1* 0302, siendo el haplotipo HLA DRB1* 0411 - DQB1* 0302 el más frecuentemente encontrado en este grupo de wayúus infectados. Estudios previos han informado la presencia de este alelo HLA DQB1 0302 en otras poblaciones en general, tales como en los japoneses (Zaninovic, V. *et al.*, 1994).

Los hallazgos de las cargas génicas de nuestros afrocolombianos son similares a los encontrados por otros

investigadores en poblaciones de las costas occidentales del África, y podrían explicar la ausencia de los marcadores de infección para el virus en este grupo de afrocolombianos. De otra parte, nos permiten postular que los antiguos pobladores de estos palenques en el Caribe colombiano pudieron provenir de embarques de esclavos desde las costas oeste de África, donde al contrario del África central y suroriental, este virus tiene un comportamiento como un patógeno que produce una infección con alta endemicidad.

Tomando todos los resultados de este trabajo se podría postular que las olas de migración de origen mongólico trajeron consigo el virus HTLV-II del Viejo Mundo hacia el Nuevo Mundo y que los grupos afrocolombianos de la región norte del país podrían ser descendientes de africanos cuyo origen puede ser diferente al de los grupos negroides que pueblan las islas caribeñas, así como el litoral del suroccidente del Pacífico colombiano, donde la infección por HTLV y la co-infección HTLV-I / II tienen un comportamiento endémico. Los resultados que obtuvimos son consistentes con informes previamente expuestos (Fujiyama, C. *et al.*, 1993).

Estos hallazgos sugieren una restricción étnica y geográfica de la infección por este virus en el Caribe colombiano, e insinúan una susceptibilidad genética inherente, que podría explicar la ausencia y/o presencia de estos virus en los grupos estudiados.

La alta prevalencia (7%) de la infección causada por HTLV - II entre los individuos wayúu y la ausencia del virus en afrocolombianos del litoral Caribe, provee un modelo de investigación excelente, no sólo de la naturaleza de esta infección, sino también para analizar la segregación étnica específica de esta enfermedad viral. En estudios previos se ha demostrado una independencia geográfica de las infecciones causadas por HTLV-I / II, lo cual sugiere una especificidad étnica a la susceptibilidad para desarrollar las enfermedades causadas por el virus en mención. Por otro lado, los haplotipos HLA-DRB1* y DQB1* son mutuamente excluyentes entre las diferentes tribus amerindias de Colombia y otros grupos étnicos alrededor del mundo (Fujiyoshi, T. *et al.*, 1995). La exclusión de la infección causada por el virus HTLV - II en estos dos grupos étnicos particulares del Caribe (mestizos y afro-colombianos) puede ser justificada en razón a sus antecedentes antropológicos: los amerindios de la Costa Atlántica (wayúu) son descendientes de inmigrantes mongoloides del Viejo Mundo; los mestizos (población mezclada) y los afrocolombianos (población negra de origen africano) son desde el punto de vista genético totalmente diferentes, ya que poseen sus propios antecedentes antropológicos y genéticos.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren la presencia de una susceptibilidad al desarrollo de la enfermedad determinada por la predominancia de alelos y haplotipos de los antígenos HLA presentes en la población wayúu, los cuales podrían ser capaces de modular y restringir la presentación antigénica, así como de activar clones de LTCD4(+). De esta forma, estas moléculas, unidas a péptidos virales del HTLV-II, actuarían así como factores patogénicos que serían la base molecular de una infección genética y étnicamente restringida.

Agradecimientos

El autor expresa sus agradecimientos al grupo de investigadores del Laboratorio de Inmunología y Biología Molecular de la Universidad del Norte, en particular el valioso trabajo de la doctora Gloria Garavito, así como a los investigadores del Instituto de Investigaciones Inmunológicas de la Universidad de Cartagena, al Laboratorio Sasakawa de la Universidad del Valle, por su valioso apoyo y trabajo experimental requerido para esta investigación. A Colciencias, a la Fundación Mario Santodomingo, a Murex International Inc., y a la Universidad del Norte, por la financiación parcial requerida para esta investigación, y a Eduardo Egea Jr. por la revisión y participación en la elaboración de este manuscrito.

Referencias

Arango R. Sánchez. 1988. Los pueblos indígenas de Colombia (Guía etnográfica de Colombia para actividades de Planeación). Prog NUD y DNP. Bogotá.

Biggar RJ, Maloney E, Neel JV, & Blattner WA. 1992). HTLV-II is a new world virus. *AIDS Res Hum Retroviruses*, 8: 931.

Braciale, TJ, Braciale, VL. 1991. Antigen presentation: Structural Themes and functional variations. *Immunol Today*, 12: 124-129.

Bryan, A. *South America. Early Man in the New World*. S, Richard (Ed). Sage Publications.

Cavalli-Sforza, LL. 1991. Genes, peoples and languages. *Sci Amer*, 265: 104-110.

Cerna, M., Falco, M, Friedman, H., Raimondi, E., Maccagno, A., Fernández Viza, M. & Stastny, P. 1993. Differences in HLA Class II alleles of isolated South American Indian population from Brazil and Argentina. *Hum Immunology*, 37: 213.

Cleghorn, E., Charles, W., Blattner, WA. & Bartholomew, C. 1990. Adult T-cell leucemia in Trinidad and Tobago. I. W.A. Blattner (ed.), *Human retrovirology*, pp. 185-190. New York, Raven.

Crawford, M.H. 1998. The origins of Native Americans: evidence from anthropological genetics. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Davies, JL, Kawachi, Y, Bennett, ST, Copeman, JB, Cordell, HJ, Pritchard, LE, Reet PW, Gough, SCL, Jenkins, SC, Palmer,

SM, Balfour, KM, Rowe, BR, Farrall, M, Barnett, AH, Bain, SC & Todd, JA. 1994. A genome-wide search for human type I diabetes susceptibility genes. *Nature*, 371: 130.

Dubey, DP. 1993. Quantitative Aspects of HLA. In: *Manual of Clinical Laboratory Immunology* (pp.867-876), 4th ed. N. Rose, Macarigo de EC, JL, Fahey, H, Friedman & G.M.Penn (Eds.) A. Soc. Microb Whashington D.C.

Ducñas-Barajas, E., Bernal, J., Baught, D. et al. 1993. Human retroviruses in Amerindians of Colombia high prevalence of human T cell lymphotropic virus type II infection among the Tunebo Indians. *Am J Trop Med Hyg*, 49: 657-663.

Egea, E., Blank, A., Garavito, G., Angel, L., Iglesia, A. & Caraballo, L. 1999. Restricción étnica y geográfica de la infección causada por el virus HTLV-II y su asociación con el polimorfismo del complejo mayor de histocompatibilidad en tres subpoblaciones del Caribe colombiano. *ACMI*, 24: 137-143.

_____, _____, Caraballo, L., Jimenez, S., Callejas, D. & Iglesias, A. 1998. Ausencia de Infección por los virus HTLV I/II en varias subpoblaciones de afrocolombianos en el Caribe colombiano. *ACMI sup. XV Congreso de Medicina Interna*. Santafé de Bogotá.

Fernández-Viñas, M., Gao, X., Moraes, ME., et al. 1991. Alleles of four HLA class II loci determined by oligonucleotide hybridization and their associations in five ethnic groups. *Immunogenetic*, 34: 299-312.

Fujiyama, C., Fujiyoshi, T., Miura, T., Yashiki, S., Matsumoto, D., Zaninovic, V., Blanco, O., Harrington, W., Jr, Byrnes, JJ., Hayami, M., Tajima, K., & Sonoda S. 1993. A new endemic focus of HTLV-II carriers among Orinoco natives in Colombia. *J. Infect. Dis.*, 168: 1075-1077.

Fujiyoshi, T. et al. 1995. Ethnic segregation of HTLV-I and HTLV-II carriers among South America Native Indians. *Int J Cancer*, 63: 510-515.

Gessain, A., Tuppin, P., Kazanj, M., Cosnefroy, JY., Georges, C., Georges, AJ. & De the G. 1994. A distinct molecular variant of HTLV-IIb in Gabon, Central Africa. *AIDS Res Hum Retroviruses*, 10: 753-754.

Gjertson, DW. & Terasaki, P. 1998. *HLA 1998*. Lenexa, Kansas: American Society for Histocompatibility and Immunogenetic.

Gorodetzky, C. 1995. *Genetic Different between Europeans and Indians: Tissues and Blood types. Columbus and the New World: Medical Implications*. Providence (EE.UU): Oceans Publications.

_____, Castro-Escobar, L. & Escobar-Gutiérrez, A. 1985. The HLA system in the prevalent Mexican Indian group the Nahuas. *Tissue Antigens*, 25: 38.

_____, & Olivo, A. 1994. *Effective DNA technology transfer to developing countries*. Nueva York: Plenum Press.

Gorski, J. 1989. The HLA DRw8 lineage was generated by a deletion in the DRB region followed by first domain diversification. *J. Immunol*, 142: 4041-4045.

Goubau, P., Liutt, De Lunge, GG., Vandamme, A. & Desmyter, J. 1993. HTLV-II Seroprevalence in Pymies across africa since 1970. *AIDS Res Hum Retroviruses*, 9: 709-713.

- Greenberg, J.H., Turner, C.G. & Zegura, S.L. 1986. The settlement of the Americas: a comparison of the linguistic, dental and genetic evidence. *Current Anthropol.* 27: 477-497.
- Gregersen, P.K., Kau, H., Nuñez-Roldán, A. *et al.* 1988. Recombination sites in the HLA class II region are haplotype dependent. *J. Immunol.* 141: 1365-1386.
- Gutiérrez, I. 1986. *Historia del Negro en Colombia*. Bogotá: Nueva América.
- Hjelle, B.S., Zhu, W., Takahashi, H., Ijichi, S. & Hall, W.W. 1993. Endemic Human T cell leukemia virus type II infection in southwestern us indians involves two proto-type variants of virus. *J Infect Dis.* 168: 737-740.
- Horai, S., Kondo, R., Nakagawa-Hattori, Y., Hayashi, S., Sonoda, S., & Tajima, K. 1993. Peopling of the Americas, founded by four major lineages of mitochondrial DNA. *Mol. Biol. Evol.* 10: 23-47.
- Hurley, C.K., Gregersen, P.K., Gorsky, J. *et al.* 1989. The DR4(w18) DQW4 haplotype differs from DR3(w17), DQw2 haplotypes at multiple class I loci. *Hum Immunol.* 25: 37-50.
- Igarashi, T., Yamashita, M., Miura, T., Osei-Kwasi, M., Aysi, N.K., Shiraki, H. *et al.* 1993. Isolation and genomic analysis of Human T Lymphotropic Virus Type II from Ghana. *AIDS Res Hum Retroviruses.* 9: 1039-1042.
- Imanishi, T., Wakisaka, A. & Gojobori, T. 1991. Genetic relationship among various human populations indicated by MHC polymorphisms. In K. Tsuji, M. Arzawa, & Nasazaki. Vol. 1. HLA. Proceedings of the Eleventh International Histocompatibility Workshop and Conference. Yokohama. Oxford University Press.
- Jeffery, K.J. 2000. The influence of HLA class I alleles and heterozygosity on the outcome of human T cell lymphotropic virus types I infection. *J Immunol.* 165(2):7278-7284.
- Kaplan, J.E. & Khabbaz, R.F. 1993. The Epidemiology of Human T Lymphotropic Virus types I and II. *Rev. Med. Virol.* 3: 137-148.
- Katohira, Y., Yabiki, S., Fujiyoshi, T., Nomura, K., Tara, M., Mori, M., Setoyama, M., Kanzaki, T., Shida, H., & Sonoda, S. 1995. In vitro induction of cytotoxic T lymphocytes against HTLV-I infected T-cells from adult T-cell leukemia patients, asymptomatic HTLV-I carriers and seronegative healthy donors. *J Cancer Res.* 86: 21-27.
- Klein, H. 1986. *African Slavery in Latin America and the Caribbean*. New York. Oxford University Press.
- Khare, S.D., Luthra, H.S. & David, ChS. 1998. Unraveling the mystery of HLA-B27 association with human spondyloarthropathies using transgenic and Knock out mice. *Seminars in Immunology.* 10: 15-23.
- Klein, J. 1986. *Natural History of the Major Histocompatibility Complex*. New York: John Wiley.
- _____, Saita, Y., O'Huigin, C. & Takahata, N. 1993. The molecular descent of the major histocompatibility complex. *Annu Rev Immunol.* 11: 269.
- Lal, R.B., Hielle, B. & Rudolph, D.L. 1992. Spontaneous proliferation of HTLV-II infected peripheral blood lymphocytes: HLA-DR-driven, IL-5- dependent. *Microbiol Immunol.* 36(8): 865-872.
- Lara-Marquez, M.L., Yunis, J.L., Layrisse, Z., Ortega, F., Carvallo-Gil, E., Montagnani, S., Makhatadze, N.J., Pocino, M., Granja, C. & Yunis, E. 1999. Immunogenetics of atopic asthma: association of DRB1*1101 DQA1*0501 DQB1*0301 haplotype with *Dermatophagoides* spp -sensitive asthma in a sample of the venezuelan population. *Clinical and Experimental Allergy.* 29: 60-71.
- Lemaître, E. 1983. *Breve historia de Cartagena*. Bogotá: Italgraf.
- Levine, P.H., Jacobson, S., Elliott, R., Caballero, A., Colclough, G. *et al.* 1993. HTLV-II infection in Florida Indians. *AIDS Research and Human Retroviruses.* 9 p.
- Maloney, E.M., Biggar, R.J., Neel, J.V., Taylor, M.E., Hahn, B.H., Shaw, G.M. & Blattner, W. 1992. Endemic human T-cell lymphotropic virus type II infection among isolated Brazilian Amerindians. *J. Infect. Dis.* 166: 100-107.
- Martínez, B., Blank, M., Egea, E., Garavito, G. *et al.* 2000. HLA class I alleles in Latin American population. *Human Immunol.* (supl), 26th Annual Meeting American Society for Histocompatibility Immunogenetics.
- McMichael. 1997. *HLA in Infectious disease. 1st edc. HLA and disease - The Molecular Basis*. Copenhagen. Munkgaard.
- Merriwether, D.M., Rothhammer, F. & Ferrell R. 1995. Distribution of the four-found-ing lineage haplotypes in Native Americans suggest a single wave of migration for the new world. *Am J Phys Anthropol.* 98: 411.
- Middleton, D., William, F., Hamill, M.A. & Meenagh, A. (2000). Frequency of HLA-B alleles in a caucasoid population determined by a two-stage PCR-SSOP typing strategy. *Human Immunol.* 61(2): 1287.
- Middleton *et al.* 1995. Modification of an HLA-B PCR SSOP typing system leading to improved allele determination. *Tissue Antigens.* 45: 232-236.
- Navas, M., Iglesias, A., Martínez, B. & Caraballo, L. 1995. Prevalencia de anticuerpos contra HTLV-I en una población negra del Caribe. *Biomedica.* 15: 34-36.
- Neel, J.V. *et al.* 1994. Virology and genetic studies relate Amerind origins to the indigenous people of the Mongolia/Manchuria/Southeastern Siberia region. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America* 91: 10737-10741.
- Olier, J.R. 1990. Reflexiones sobre el posible origen wayúu (guajiro). En G. Ardila C. (Ed.) *La Guajira*. FEN- Universidad Nacional de Colombia.
- Pertz-Erler, M.L., Gorodezky, C., Egea, E., Garavito, G. & Angel, L. 1996. Anthropology report for Region Latin-America: Amerindian admixed population, 1 p.
- _____, Layrisse, Z., Klitz, W., Fainboim, L., Vullo, C., Bodmer, J.G., Egea, E., Navarrete, C., Infante, E., Alaez, C., Olivo, A., Debaz, H., Bautista, N., Rosa, G. de la, Vazquez, M.N., Navarro, J.L., Pujol, M.J., Duran, C., Schaffhauser, C., Garavito, G., Angel, L. *et al.* 1997. Anthropology report for Region Latin-America: Amerindian and admixed populations. En D. Charron (Ed.), *Genetic diversity of HLA: functional and medical implication*. Paris: EDK, pp. 337-345.
- Reeves, W.C., Cutler, J.R., Garcia, F., Kaplan, J., Castillo, L., Hartley, T.M., Brenes, M.M., Larreategui, M., de Lao, S.L., Archbold, C., Lairmore, M.D. & Levine, P.H. 1990. Human

- T-cell lymphotropic virus infection of Guaymi Indians from Panama. *Amer. J. trop. Med. Hyg.*, 43: 410-418.
- Risch, N. 1990. Linkage strategies for genetically complex traits. II. The power of affected relative pairs. *Am J Hum Genet.* 46: 229-241.
- Robinson, MA. & Kindt, T.J. 1989. Major Histocompatibility complex genes. In P.E Williams (Ed). *Fundamental Immunology*. New York: Raven Press.
- Rose, NR. 1998. The role of infection in the pathogenesis of autoimmune disease. *Seminars in Immunology*, 10: 5-13.
- Salzano, F. & Callegari-Jackques, S. 1988. *South American Indians. A case study in evolution*. Oxford: Clarendon Press.
- Sanders, WT. & Marino, J. 1969. *Prehistoria del Nuevo Mundo*. Barcelona, Editorial: Labor.
- Sanmartín Barberí, C. & Román, GC. 1995. HTLV-I en la Costa del Pacífico de Colombia y Ecuador. *Tribuna Médica*, 92: 15-22.
- Schobinger, J. 1969. *Prehistoria de Suramérica*. Barcelona, Ed: Labor.
- Silvera-Redondo, C., Gómez-Casado, E., Martínez-Laso, JM., Egea, E., Garavito, G., Varela, P., Pacho, A., Moscoso, J., Rubio, I. & Arnal-Villena, A. 2000. A new HLA-Cw allele (Cw*0808) found in a Colombian mestizo individual possibly generated by an intralocus/interloci gene conversion. *Immunogenetics*.
- Stranick, KS., Kienzle, BK. & Knowles, RW. 1990. Molecular Analysis of a recombination breakpoint in the HLA DQ region. (Abs). *Hum Immunol (suppl)*, 29: 6.
- Tajima, K. & Hinuma, Y. 1992. Epidemiology of HTLV-I/II in Japan and the World. In: K. Takatsuki Y, Hinuma and M. Yoshida (eds). *Advances in adult T-cell leukemia and HTLV-I research. Gann Monograph on Cancer Research N°39*, pp.129-150. Japan Scientific Societies Press.
- Thorsby, E. 1995. Associated disease susceptibility. Which genes are primarily involved? *Immunologies*, 3: 51.
- Vergara, GO. 1990. *Los Wayúu, hombres del Desierto. La Guajira*. G. Ardila C. (Ed). FEN, Universidad Nacional de Colombia.
- Williams, RC, Steinberg, AG, Gershowitz, H., Bennett, PH., Knowler, WC., Pettitt, DJ., Butler, W., Baird, R., Dowd-Rea, L., Burch, TA., Morse, HG. & Smith, CG. 1985. GM allotypes in native Americans: evidence for three distinct migrations across the Bering land bridge. *Am. J. Phys. Anthropol.* 66: 1-29.
- Wong-Staal, F., & Gallo, RC. 1985. Human T-lymphotropic viruses. *Nature (Lond)*, 317: 395-403.
- Zaninovic V. et al. 1994. Geographic independence of HTLV-I and HTLV II foci in the Andes highland, the Atlantic Coast, and the Orinoco of Colombia. *AIDS Res. hum. Retroviruses*, 10: 97-101.

LUZ, MATERIA Y EL NANOMUNDO

por

Ángela S. Camacho B.*

Resumen

Camacho B., A. S.: Luz, Materia y el Nanomundo. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **26**(99): 197-206. ISSN 0370-3908.

La íntima relación entre luz, materia, espacio, tiempo y energía ha sido el objeto de estudio de la Física. Con el ánimo de ilustrar esta relación en el caso del desarrollo de la tecnología de la información durante el siglo XX y el estado actual mostraré cómo la invención del transistor y del láser dieron inicio a la carrera por la miniaturización que a su vez ha mostrado el Nanomundo físico con sus increíbles posibilidades de avances tecnológicos y las nuevas leyes de Nanociencia y la Femtociencia del siglo XXI.

Palabras clave: Luz, electrónica, comunicaciones, Nanociencia y Femtociencia.

Abstract

Physics studies the relation between light, particles, space, time and energy. The main aim of this contribution is to show the rapid development on communications in the last century based on the invention of the transistor and the laser. Both of them started the competition for miniaturization, which show us the new world of Nanoscience and Femtoscience and their incredible possibilities in the future.

Key words: Light, particles, electronics, Communications, Nanoscience and Femtoscience.

Introducción

La luz ocupa un lugar muy especial en la historia del tiempo y del mundo. La Biblia comienza con la frase Y DIOS DIJO, HÁGASE LA LUZ Y LA LUZ FUE HECHA. En ese momento se inicia el tiempo para la humanidad según el mundo occidental. Pero también la ciencia ha creado su propia teoría del comienzo del tiempo y habla del Big Bang como el principio del universo. El Big Bang

es la explosión original a partir de un punto de compresión infinita, en el cual estaba concentrada toda la energía del universo que se convirtió en materia y antimateria. Antes de un segundo ya existían pares electrón-positrón y antes de un microsegundo existían pares protón-anti-protón. Después, a medida que el universo se expandía y se enfriaban las partículas y antipartículas, se aniquilaron hasta desaparecer originando gran cantidad de radiación electromagnética. La íntima relación entre tiempo, espa-

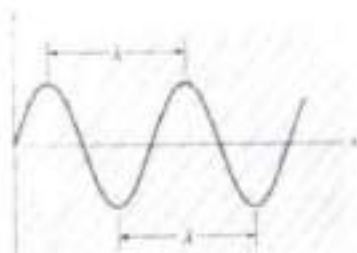
* Académica correspondiente. Profesora Universidad de los Andes, Bogotá, D.C. Colombia.



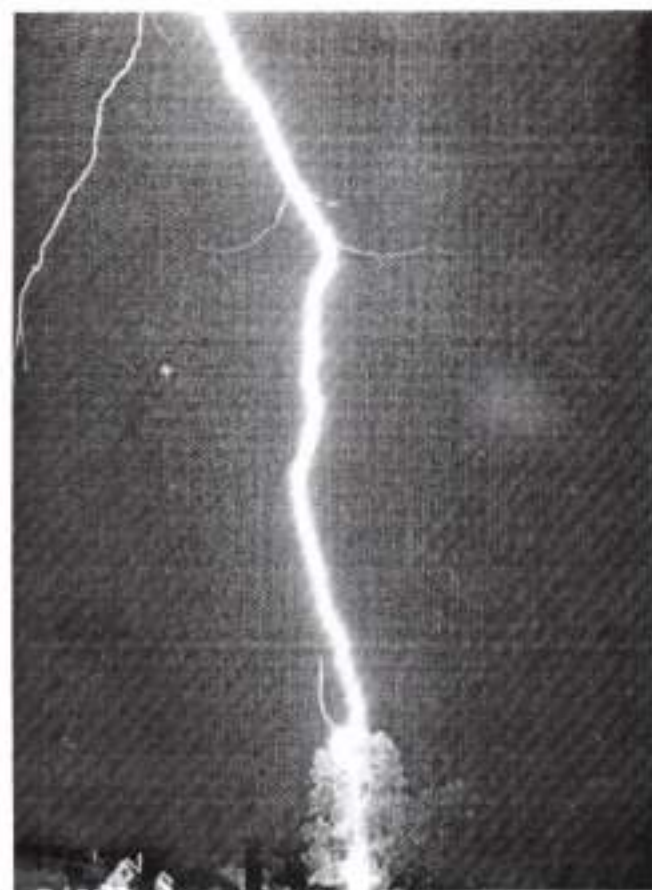
Sir Isaac Newton



James Clerk Maxwell



Heinrich Hertz



Interacción de la luz con materia

cio, materia y energía se entiende en la teoría del Big Bang. La luz, la materia y su interacción han sido, son y seguirán siendo el objeto de estudio de la Física. La contribución más importante hasta comienzos del siglo XX la hizo Sir Isaac Newton, quien no sólo descubrió las leyes del movimiento de objetos macroscópicos sino que también propuso una descripción de la luz como partícula. Sin embargo, el desarrollo posterior de la Física se inclinó por una descripción de la luz como una onda a la manera que está propuesta en las leyes de Maxwell, quien obtuvo una bellísima unificación de la electricidad y el magnetismo describiendo la luz como ondulaciones de estos campos que se propagan en el espacio. La energía transportada por una onda electromagnética se llama radiación electromagnética y esta energía se pone de manifiesto dependiendo del número de oscilaciones por segundo (frecuencia medida en Hertz) o de la longitud de esa oscilación que mide la distancia que ocupa una sola oscilación. Estas dos magnitudes están relacionadas a través de la velocidad de la luz. La radiación electromagnética tiene muchas caras. La más familiar es la luz visible. En el arco-iris las longitudes de onda van de 380 nanómetros (el violeta más profundo) a 750 nanómetros (el rojo más brillante). Un nanómetro es la milésima parte de una millonésima de metro. En las regiones de longitudes de onda más largas se tienen microondas y ondas de radio y televisión y en las de ondas más cortas que el visible está el ultravioleta y los rayos gama.

Las ondas electromagnéticas

Hasta el final de la segunda guerra mundial la región más utilizada del espectro electromagnético fue la conocida como HF o de alta frecuencia, esto significa ondas con frecuencia de 3 a 30 MHz (millones de Hertz o Megahertz) lo que corresponde a longitudes de onda de 10 a 100 m. En la década de los 60's se empezaron a usar frecuencias llamadas VHF (muy alta frecuencia) y UHF (ultra-alta frecuencia) que están relacionadas con longitudes de onda menor que un metro y hasta de decímetros. Estas ya dieron lugar al radio en FM y la televisión a color. En 1980 la idea del control remoto inalámbrico se basó en la posibilidad de producir y detectar ondas de centímetros que pertenecen a las SHF (supra alta frecuencia o micro-ondas). En los últimos años se han empezado a usar EHF (extremadamente altas frecuencias, del orden de los Gigahertz, 10^9 Hz) para introducir comunicación satelital.

Se acercan las comunicaciones con ondas milimétricas que corresponden a frecuencias superiores a 30 GHz. Dependiendo, entonces, de si estamos oyendo la BBC (100 kHz) ondas de radio, hablando por teléfono celular usa-

mos 3GHz o microondas o en una llamada a Europa 300 THz (10^{12} Hertz) cerca al infrarrojo, siempre estamos usando las ondas electromagnéticas.

Puesto que las frecuencias altas tienen mayor capacidad de transporte de datos que las bajas, la frecuencia de las bandas utilizadas para transmisión inalámbrica ha ido en continuo aumento desde decenas de MHz a mediados del siglo hasta los GHz en la actualidad.

Dispositivos electrónicos desarrollados en la segunda mitad del siglo XX han contribuido a los acelerados avances de las telecomunicaciones. Esto es, la longitud de onda se ha encogido del tamaño de un campo de fútbol (100 m) al tamaño de una ameba (1 décima de mm). En 5 años habrá alrededor de 1000 satélites de comunicación comercial. Muy pronto habrá plataformas de gran altitud sobre las ciudades enviando continuamente información. Además de la gran cantidad de formas de entretenimiento masivo de realidad virtual, su utilización para educación, salud, etc. es impensable. Los sistemas de telecomunicaciones espaciales modificarán nuestro modo de vivir en los próximos 20 años, proporcionando un rápido acceso a informaciones de todas clases desde terminales de bolsillo del tamaño de una cartera de mano en cualquier punto del planeta. Esta radiación es producida por circuitos oscilantes que poseen transistores de alta velocidad y han dado lugar a las técnicas inalámbricas trasladándose lentamente a ondas milimétricas. Por el otro extremo, los de frecuencias visibles y más altas son los láseres, fuentes de ondas electromagnéticas coherentes que se usan para telecomunicaciones con fibras ópticas.

Sin embargo, las dos tecnologías no se han encontrado; por un lado los transistores y los dispositivos basados en transporte cuántico se limitan a 300 GHz (50 GHz son el límite práctico, los dispositivos que trabajan más arriba son muy ineficientes). Por otro lado la longitud de onda de los láseres se extiende hasta 10 mm (30 THz). Entre las dos tecnologías está la llamada brecha de los THz.¹ En la referencia² se registra un nuevo láser semiconductor que produce una radiación intensa de 4,4 THz inyectando electrones en una estructura cuántica llenando así la brecha de fuentes de ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas son las encargadas de llevar la información y ellas transportan energía. Se torna de vital importancia la transmisión de información, y la investigación del origen físico de la información. Con este objetivo quiero hacer un rápido viaje que muestre cómo la carrera hacia la miniaturización y las velocidades más altas ha llegado al nanomundo. Cuando hablamos del nanomundo estamos hablando de fabricar dispositivos del tamaño de una sola molécula de azúcar. Este cálculo fue

parte de la tesis doctoral de **Albert Einstein**, quien a partir de experimentos de difusión de azúcar en agua, mostró que la molécula mide un nanómetro de diámetro, esto es la millonésima parte del tamaño de la cabeza de un alfiler o lo que es lo mismo una fila de 10 átomos de hidrógeno uno al lado del otro. 100 años después del cálculo de Einstein la escala de los nanómetros salta al ruedo de la tecnología. Después de Investigación Biomédica y Defensa, la Nanotecnología es la disciplina de más interés que conjuga la Física de la Materia Condensada, la Ingeniería, la Biología Molecular y la Química.

El nanomundo es el mundo de las distancias de las moléculas de azúcar y de los tiempos ultracortos. Para tener una idea de lo que significa tiempo ultracorto recordemos el tiempo que gasta una señal para pasar de una neurona a otra en el cerebro que es de 0.05 milisegundos y este tiempo es largo en la escala de los femtosegundos. Tal vez se tenga una mejor idea si se piensa que un femtosegundo es a un segundo como un segundo es a 32 millones de años. El nanomundo también es el mundo en el que se ha observado la luz inmovilizada. El mundo nano es una misteriosa zona fronteriza entre el dominio de las moléculas y los átomos (cuántico) y el mundo macro (clásico) que resulta del comportamiento colectivo de trillones de átomos. Aunque la miniaturización de los circuitos en los microchips electrónicos es una de las razones principales del interés por la nanotécnica, son muchas las sorpresas que guarda el nanomundo para la Física Fundamental como lo predijo **Richard Feynmann** en 1959.

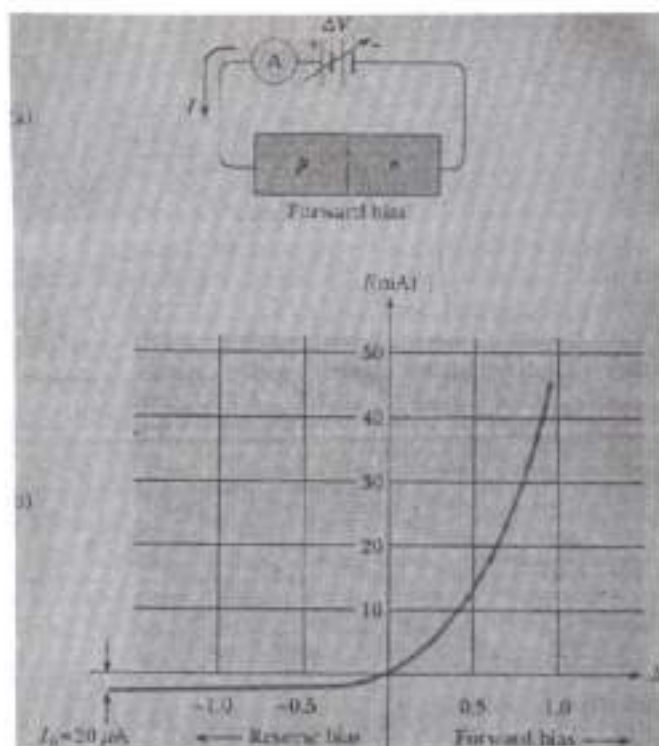
Semiconductores y Controlabilidad

Los dispositivos basados en materiales semiconductores, que no son ni buenos conductores ni malos conductores, permitieron controlar el movimiento de los electrones en materiales y además usar impurezas inyectadas desde afuera en cantidades controlables para manipular el comportamiento electrónico. Impurezas son átomos que poseen ya sea un electrón de más o uno de menos frente a los átomos del material base o anfitrión. De esta manera es posible tener SEMICONDUCTORES TIPO n y SEMICONDUCTORES TIPO p.

Al juntar estos dos tipos de materiales, se crea una corriente pues del lado con mayoría de electrones fluyen estos hacia el lado con déficit de electrones tratando de equilibrar la concentración. También se puede pensar que ese déficit (HUECOS) establece una corriente de huecos en la dirección contraria pero que va a reforzar la de los electrones porque su carga también es contraria. Esta corriente es la que se debe controlar externamente usando campos eléctricos o diferencias de potencial.



William Schokley, Walter Brattain y John Bardeen



Diodo y curva característica corriente vs. voltaje

El dispositivo (DIODO) está completamente controlado cuando cambiando la polaridad del campo eléctrico se logra interrumpir el paso de corriente, estableciendo así dos estados. PASA CORRIENTE (ON) y NO PASA CORRIENTE (OFF). También conocido en lenguaje de computadores como un bit.

En 1948 William Schokley puso en marcha el primer transistor basándose en el trabajo de John Bardeen y Walter Hauser Brattain, quienes habían encontrado un amplificador de estado sólido en 1947. Schokley usó dos junturas de diodo opuestas para diseñar su transistor. Es decir, una secuencia de semiconductor tipo n- semiconductor tipo p - semiconductor tipo n- n-p-n o p-n-p logrando con una juntura controlar lo que pasa en la otra y teniendo así, por primera vez, un dispositivo de tres electrodos, uno de entrada, otro de salida y el tercero de CONTROL. La juntura de entrada se llamó EMISOR o FUENTE, la de llegada, COLECTOR o SIFÓN y la de control se conoce como BASE. Cambiando la diferencia de potencial Emisor-Base, se controla la corriente en el colector logrando así estados ON y OFF controlados. Es decir, la famosa base binaria de 1 y 0.

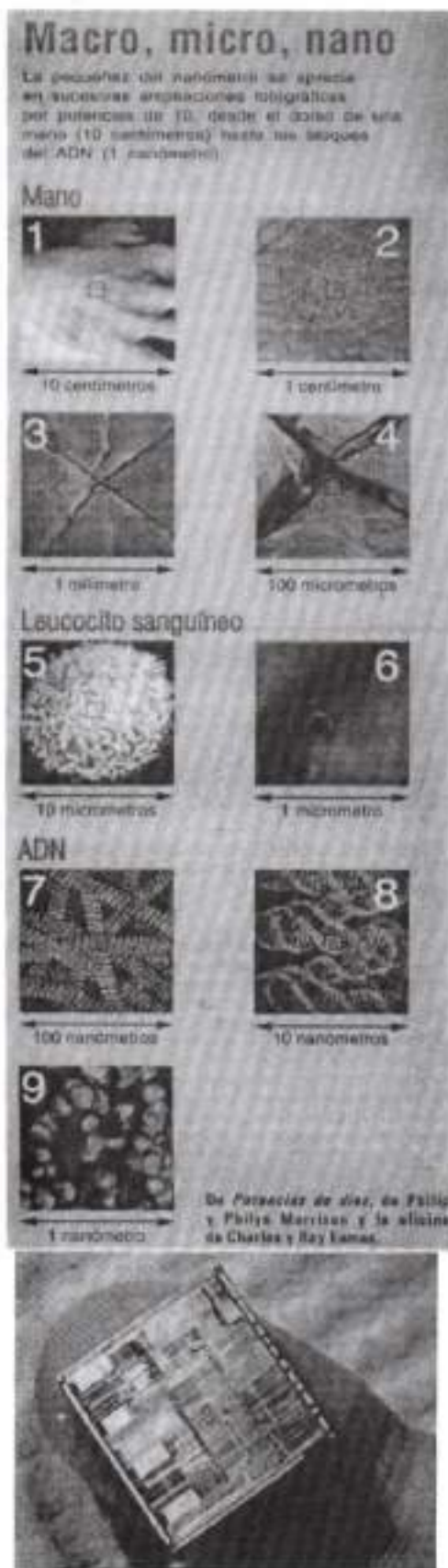
Celebramos en el año 1998 las bodas de oro del transistor. La tecnología actual de la Microelectrónica tiene como base fundamental EL TRANSISTOR. En los pasados 50 años hemos vivido la dramática miniaturización en la tecnología de computadores, pero sus principios básicos no han cambiado. Cada dos años los computadores se están haciendo dos veces más rápidos y sus componentes dos veces más pequeños. Los circuitos actuales contienen alambres y transistores que miden una CENTESIMA de un cabello humano (unos cien Angstroms)

Microelectrónica

Primero el transistor y luego la agrupación de transistores para crear microprocesadores, chips de memoria y controladores. Sin embargo, la carrera de la miniaturización muestra que esta tecnología va llegando a su fin, se le da un tiempo de vida de 10 a 15 años porque al ir haciendo más y más pequeño el canal que une la fuente con el sifón, se ha llegado a un límite en el cual ya no se pueden despreciar filtraciones a través del óxido y fluctuaciones del material dopante.

Además otro tipo de problemas mucho más fundamentales se comienza a presentar. Cuando el tamaño del canal sea menor de 30 nm, la Mecánica Cuántica entra a jugar un papel preponderante y los efectos cuánticos dominarán.

La búsqueda de una creciente miniaturización ha transformado el mundo. La microelectrónica se basa en técni-



cas que fabrican estructuras de unos 100 nm (500 átomos de silicio) es insignificante para nuestra vida cotidiana pero es grande en el mundo de las moléculas y los átomos.

Se pueden distinguir dos clases de dispositivos de nanoescala: dispositivos convencionales escalados hacia abajo, encoger los mismos diseños y aquellos dispositivos basados en efectos cuánticos. Los primeros operan en regímenes de temperaturas y de campos eléctricos en los cuales la longitud de onda del electrón es menor que las dimensiones del dispositivo, entonces se trabaja como si el electrón fuera una partícula clásica. En los dispositivos cuánticos la naturaleza ondulatoria del electrón es fundamental y una o más dimensiones son comparables con la longitud de onda del electrón y entonces aparece toda la naturaleza cuántica de estas partículas.

¿Cómo rediseñar los dispositivos microelectrónicos para que funcionen a dimensiones ultrapequeñas? ¿Es posible producir transistores que exploten estos efectos cuánticos?

La Microelectrónica es la tecnología que caracteriza el siglo XX y el silicio es el átomo en su corazón.

En el nuevo mundo ultrafino se necesita encontrar una manera diferente de controlar los electrones. Se ha pensado en nuevos materiales y se han estudiado diferentes semiconductores mezclándolos creciendo capas que permitan manipular la brecha de energía se habló entonces de la Ingeniería de la brecha de energía. Esta técnica permitió confinar el electrón de tal manera que sólo se pueda mover libremente en dos, una o cero dimensiones. Esto hace que sus energías posibles estén cada vez mejor definidas y se pueda controlar externamente su comportamiento. Así se llegó a los dispositivos que manipulan los electrones de uno en uno³. En la última década, se ha propuesto el Transistor de un solo electrón (SET, SINGLE ELECTRON TRANSISTOR) que es un transistor controlado por una sola carga y operando bajo condiciones estándar, en las cuales el canal se ha reemplazado por una isla (piscina de electrones) conductora colocada entre barreras de potencial suficientemente altas, de tal manera que sólo se pueden atravesar por efecto túnel, un efecto esencialmente cuántico que permite atravesar barreras prohibidas. Se ha intentado usar otros materiales pero el Silicio sigue mostrando propiedades que todavía se pueden explotar y es así como en el transistor SET la propiedad más espectacular es que tanto la corriente que atraviesa como la capacitancia entre sus electrodos pueden variar en varios órdenes de magnitud cuando su carga cambia en un solo electrón. El principio es sencillo. Para estable-

cer corriente entre FUENTE y SIFÓN los portadores tienen que ser añadidos o removidos de la isla⁴.

Un desbalance de carga implica un costo de energía: La energía electrostática para cargar la isla. Si este cambio de energía es mayor que la energía térmica, el SET es un AISLANTE, pero aplicando un voltaje a la compuerta, se puede bajar la energía de la isla y así reducir la energía necesaria para cargarla por debajo de la energía térmica y entonces el dispositivo es un CONDUCTOR.

Ir de un estado al otro corresponde a añadir o quitar, en promedio un quantum de carga a la isla y como consecuencia la conductancia muestra oscilaciones periódicas como función del voltaje de compuerta.

Así como el siglo XX se caracteriza por la Microelectrónica se predice que el siglo XXI será de la Biotecnología. Luego el carbono se perfila como competidor del Silicio.

El silicio tiene cuatro enlaces y la posibilidad de dopado; añadir o quitar electrones ha dado a este material la posibilidad de ser la base de los diodos y de los transistores. Además la posibilidad de oxidarse para formar las compuertas metálicas de SiO_2 , base del transistor de efecto de campo. El carbono tiene el mismo número de electrones de valencia pero es mucho más flexible. Esta flexibilidad está detrás de su utilidad en Biología como el espinazo o columna vertebral de las moléculas biológicas

El transistor a temperatura ambiente basado en un nanotubo de carbón tiene propiedades muy interesantes para dispositivos. Es mucho más flexible cuando se trata de hacer enlaces. Colocando electrodos a los nanotubos se pueden obtener dispositivos. Tubos metálicos ya se han convertido en transistores de un solo electrón⁵. El nanotubo está entre dos contactos metálicos fabricados sobre una lámina de SiO_2 y se aplica un voltaje al sustrato conductor para mover los portadores sobre el tubo. El tubo se puede prender aplicando un voltaje negativo al sustrato, lo cual induce huecos sobre el tubo inicialmente no conductor. Este dispositivo es análogo a un transistor de efecto de campo tipo p con el nanotubo reemplazando el silicio como material anfitrión de los portadores de carga. La resistencia puede cambiar en muchos órdenes de magnitud y opera a temperatura ambiente⁶.

Pronto se tendrán diodos de nanotubo y transistores bipolares⁷. Dispositivos más exóticos son posibles, así un solo defecto puede cambiar la estructura de metálica a semiconductor, creando junturas metal-semiconductor que están compuestas de carbono y por lo tanto no habrá problemas de interdifusión.

El láser

La fuente de ondas electromagnéticas que más éxito ha tenido es el láser. El láser que nació en 1960 es un emparejado entre dos espejos, se le bombea con luz o con electrones y los electrones del material saltan a un nivel de más alta energía y luego caen emitiendo luz. Los fotones que rebotan inducen a otros electrones a emitir fotones idénticos a la manera de un castillo pirotécnico donde la explosión de unos petardos provoca el encendido de otros. A esta reacción en cadena se le denomina EMISIÓN ESTIMULADA. Conforme el número de fotones crece, se integran en una onda comunitaria que se va intensificando para acabar prorrumpiendo a través de uno de los espejos en un haz concentrado y focalizado. Pero no todos los fotones se integran en una onda, muchos se emiten en forma espontánea fuera de la reacción y se comportan como relativamente libres chocando contra las paredes y no contra los espejos calentando el medio. En algunos láseres sólo uno, de 10.000 fotones, se utiliza para el dispositivo. Entonces se necesita cierto umbral de energía para asegurar que el número de electrones excitados sea suficiente para inducir y mantener la emisión estimulada. Es como la temperatura necesaria para que una olla de agua hierva.

Láseres de estado sólido y de pozo cuántico

Láseres de gas y de estado sólido se basan en transiciones ópticas muy delgadas que conectan dos niveles discretos entre los cuales se obtiene la inversión de población por bombeo electrónico óptico.

En semiconductores las transiciones se hacen entre bandas de energía en las cuales los electrones en la banda de conducción y los huecos en la banda de valencia son inyectados en la lámina activa usando una juntura p-n produciendo una recombinación rápida radiativa a través de la brecha. La longitud de onda de la emisión está determinada por la brecha.

En los láseres de cascada cuántica, todavía en el laboratorio, la inversión de población se hace por inyección de portadores directamente a los escalones de energía producidos por el campo externo entre las diferentes unidades de la superred que pueden constar de dos o más pozos cuánticos. La novedad está en que ya no se usa la brecha de energía del semiconductor sino las transiciones intersubbandas. Estas son transiciones entre subbandas de una misma banda ya sea de conducción o de valencia con energías del orden de milielectronvoltios y dependientes del diseño del dispositivo.

Los láseres de semiconductor han reducido sus dimensiones hasta hacerse más pequeños que la longitud de

TIPOS DE LASER



	HELIO-NEÓN	YAG-ARTIMERO	SEMICONDUCTOR DE MICROONDAS	DE UN SOLO ÁTOMO
DETACHANTE (SELOS)	20 A 100 CENTÍMETROS	1 A 10 CENTÍMETROS	2 A 3 MICRAS	1 MICRÓN
NÚMERO DE FOTONES	10 ¹⁴ ÁTOMOS DE NEÓN	10 ¹⁴ ÁTOMOS DE YAG	10 ¹⁴ PARES ELECTRÓN-HUECO	1 ÁTOMO DE SINGLO
POTENCIA (WATTS)	1000	10	1000	1000000000

onda de la luz que emiten. Son discos de un par de micras de diámetro y una fracción de micra de espesor y se les conoce como los nanoláseres. En computadores la luz podría reemplazar el electrón. Los fotones reemplazan los electrones para transporte, procesamiento y almacenamiento de la información. También en el campo de la Medicina para detección precoz de enfermedades.

Un láser grande emite varios tipos de fotones como una cuerda larga de una guitarra que produce un sonido que consta de una frecuencia fundamental (tono) y muchos armónicos, pero a medida que la cuerda se acorta el tono sube y el número de armónicos disminuye hasta que el proceso alcanza un límite determinado por el espesor y el tipo de material de la cuerda. En el caso de los láseres ese límite es LA MITAD DE LA LONGITUD DE ONDA DE LA LUZ EMITIDA, es la dimensión mínima para que la luz rebote entre los espejos. En esta frontera los fotones tienen un único estado posible (modo fundamental del dispositivo). Luego cada fotón se ve forzado a contribuir a la onda. Al intensificarse se engendra un haz que finalmente escapa a través del espejo. Ningún fotón se pierde.

Los microláseres, más desarrollados que nanoláseres, permiten alrededor de 100 estados fotónicos. Esto significa un gran ahorro de energía. El límite es obtener una onda continua de un solo modo.

Operación sin umbral

Se han propuesto láseres de pozo cuántico que aprisionan no sólo electrones sino también los fotones que se reflejan al cambiar de un material a otro por el cambio de índice de refracción. Si las láminas de los espejos están formadas de capas alternantes con un espesor de la cuarta parte de la longitud de onda, la geometría de la estructura permite que las reflexiones se refuercen. Con este método se logra el 99% de reflexión mejor que un espejo de un cuarto de baño. Y un rendimiento por encima del 50%, lo cual supera la eficacia de los láseres de diodo de semicon-

ductor con un 30%. Este rendimiento también se observó en el láser de un solo átomo. Un átomo excitado en el espacio libre emite un fotón espontáneamente en una dirección aleatoria. Pero en una cavidad resonante el átomo emitirá el fotón más rápido hacia los espejos espaciados de manera precisa. Si otro átomo excitado entra en la cavidad, la presencia del fotón causará que el átomo emita un fotón idéntico en la misma dirección pero de manera mucho más rápida⁸.

Fotones por encargo

Micro y nanoestructuras se dejan diseñar o confeccionar como lo hace una modista con un vestido. Pero ir más allá y encargar un solo fotón es el sueño de los investigadores de Óptica Cuántica, entre otras cosas porque son útiles en Ciencia de la Información Cuántica, Criptografía Cuántica y el Computador Cuántico. Los experimentos permiten en la actualidad crear un solo fotón y presentar una fuente de luz en la base del estado sólido con la cual se pueda controlar el tiempo de emisión y el número de fotones.

¿Cómo se pueden crear fotones aislados? Una manera intuitiva; el método consiste en debilitar un pulso de luz tanto que se llegue a un solo fotón. Pero esto no es posible porque la emisión de fotones de fuentes clásicas de luz obedece la estadística de Poisson. Esto significa que cuando se ha debilitado la luz hasta llegar a un solo fotón, se obtiene en el 37% de los casos ningún fotón, en el 37% un fotón y en el 26% restante más de un fotón. Esta última posibilidad se debe reducir y para esto trabajar con pulsos de 0.1 fotones en promedio y esto reduce mucho el número de fotones.

Se necesitan tres componentes para lograr una fuente de fotones que emita de a un fotón: Un emisor cuántico, un control del proceso de emisión y un sitio de corte. El emisor puede ser un átomo, una molécula o un par electrón-hueco en un semiconductor y estas fuentes producen fotones separados en distancia (photon antibunching). Estas son fuentes de fotones separados pero ellas no son determinísticas, lo que significa que no se puede controlar desde afuera la emisión. Esta emisión se da de forma casual. El control del punto de emisión se puede hacer de dos maneras: incoherente usando pulsos láser o coherente a través de un proceso adiabático en el cual la frecuencia de resonancia de la transición molecular se sintoniza lentamente a la frecuencia fija del láser hasta lograr la transición al estado excitado. El fotón es emitido dentro del intervalo de vida media del estado excitado. En el experimento se mide la función de correlación fotónica de segundo orden

que significa la probabilidad de detectar un fotón en el tiempo t si se tiene seguridad que se emitió uno en el tiempo cero ($t=0$)⁹.

El nanomundo

La herramienta reina para estudiar, sondear y manipular moléculas del nanomundo es el microscopio de efecto túnel con el cual la unidad de control aplica una fuerza electromotriz a la punta detectora y se recoge una corriente en la superficie, objeto de observación. Su principio reside en la conductividad electrónica que pasa por una punta metálica afilada que recorre, sin hacer contacto una superficie conductora. Los electrones que se comportan como ondas y como partículas llegan a la punta dependiendo de la proximidad de la superficie explorada. El microscopio va dibujando y reproduciendo la superficie. De este modo se pueden "VER" los átomos y los efectos atómicos de la superficie¹⁰.

En 1959 Feynman profetizó la existencia del nanomundo y aún en 1983 cuando se desarrolló el microscopio de efecto túnel la física de nanoescala no estaba clara. Veamos algunos ejemplos, 1987 durante un estudio de corriente eléctrica por contactos de punto cuántico se descubrió la cuantización de la conductancia que se produce cuando las propiedades ondulatorias de los electrones se mantienen coherentes desde la fuente hasta el sifón. Este descubrimiento fue el apogeo de la mesoscopía. Un segundo ejemplo, en 1985 en Moscú se mostró la posibilidad de controlar el movimiento de electrones individuales que ingresan o egresan de un islote de Coulomb. En dispositivos muy pequeños, estos efectos de transferencia monoeléctrica de carga podrían dominar el flujo de corriente. Hacia el 2014 el tamaño del rasgo más pequeño de los transistores integrados en los microcircuitos se reducirá a unos 20 nm. En esta dimensión intervendrá una carga de unos 8 electrones.

En 1987 en laboratorios Bell se obtuvo el primer transistor de un sólo electrón. El efecto de carga se conoce como BLOQUEO DE COULOMB y se ha observado en todos los dispositivos nanoescalares cuando se hacen pasar corrientes a través de moléculas. Uno de los retos en este campo estriba en aplicar dicho efecto para obtener acoplamientos robustos y reproducibles a moléculas pequeñas. En 1990 en Bell Communications Research estudiando transporte electrónico para desarrollar técnicas que ayuden a elucidar la naturaleza cuántica del flujo de calor exigió el diseño de nanoestructuras en suspensión a temperaturas muy bajas. A finales del verano de 1999 se observó por fin el flujo de calor a través de puentes de nitruro de silicio y apareció el límite al flujo calorífico en estructuras mesoscópicas. El cuanto de

conductancia térmica o sea la tasa máxima con la que puede transportarse el calor por una vibración mecánica singular y ondulatoria que se extienda desde la entrada hasta la salida del dispositivo nanométrico. Este es el límite infranqueable para el problema de la disipación de energía y a su vez el límite a la eficacia disipativa del calor en un dispositivo muy pequeño.

Resumiendo, conductancia eléctrica, conductancia térmica y bloqueo de Coulomb significan cortes abruptos de nuestro conocimiento y son leyes nuevas del nanomundo.

Algunos problemas que se tienen en el nanomundo a nivel de aplicaciones son:

I. Comunicación entre el nanomundo y el macromundo

En sistemas Nano Electro-Mecánicos (SNEM) un fleje nanoescalar anclado por ambos extremos vibra con mínima distorsión armónica cuando la amplitud de su vibración se mantiene menor que una pequeña fracción de su espesor. Si la barra es de 10 nm la amplitud es de uno o dos nm y la frecuencia natural de vibración aumenta al disminuir el tamaño de la barra. Se necesitaría resolver desplazamientos hasta de picómetros (pm) y aún de femtómetros (fm), o que exige un ancho de banda del orden de microondas.

II. El papel de la superficie. La hipótesis básica de la física del estado sólido es que la razón superficie a volumen de los dispositivos es pequeña, en sistemas nanoescalares esta hipótesis se viene abajo. En una barrita de 100 nm de largo y 10 nm de diámetro el 10% de los átomos se encuentran en la superficie.

Detener la luz

Reducir la velocidad de la luz que viaja a través del espacio vacío a 300.000 kilómetros por segundo es otro gran logro del nanomundo que además ofrece nuevas posibilidades para las comunicaciones ópticas y los computadores o quizás la posibilidad de experimentar con agujeros negros. En 1998 la física **Lene Vestergaard Hau** del Instituto Científico Rowland de Cambridge y su grupo vieron los primeros resultados. A finales del año 2000 los pulsos de luz se pararon dentro de nubes gaseosas enfriadas hasta cercanías del cero absoluto¹¹, es decir, se pudieron mantener los pulsos congelados durante unos momentos y luego si se liberó la luz para que prosiguiera su camino. Mientras está congelada la luz se podría hacer que los átomos del gas se deslicen sobre el pulso de luz para hacer estudios de los condensados de Bose-Einstein.

El proceso es el siguiente, antes de que el pulso de luz alcance la nube de átomos, los espines de los átomos están lineados, (se comportan como pequeños imanes) y un haz láser de acoplamiento convierte la nube en transparente para el pulso. La nube retarda y comprime el pulso y los estados de los átomos cambian en una onda que acompaña la luz retardada. Cuando el pulso está completamente dentro de la nube se apaga la luz de acoplamiento deteniendo la onda y la luz se desvanece a velocidad cero.

Luego se enciende de nuevo el haz de acoplamiento regenerando el pulso de luz que se vuelve a poner en movimiento.

Se trata específicamente de jugar con un sistema atómico de tres niveles¹², dos de los cuales están muy cercanos en energía y el tercero está 30.000 veces más alejado. La luz que induce la transparencia se sintoniza a la diferencia de los estados 2 y 3. Los átomos que están en el estado 2 la absorben; los átomos del estado 1 no pueden absorberla y se comportan como transparentes a esa luz.

Luego llega un tercer pulso sintonizado a 3, enreda los estados 1 y 2, lo que significa, que los átomos están en los dos estados simultáneamente. El estado 1 sólo absorbería la luz de exploración; el estado 2 sólo absorbería la luz de acoplamiento. Al actuar juntos se cancelan como en un tira y afloja que se llama interferencia cuántica y se tiene un estado oscuro. La velocidad de la luz depende tanto de la densidad de la nube de átomos como de la intensidad de la luz láser.

Aunque nubes muy densas dejan escapar átomos al exterior pulsos de acoplamiento muy débiles disminuyen

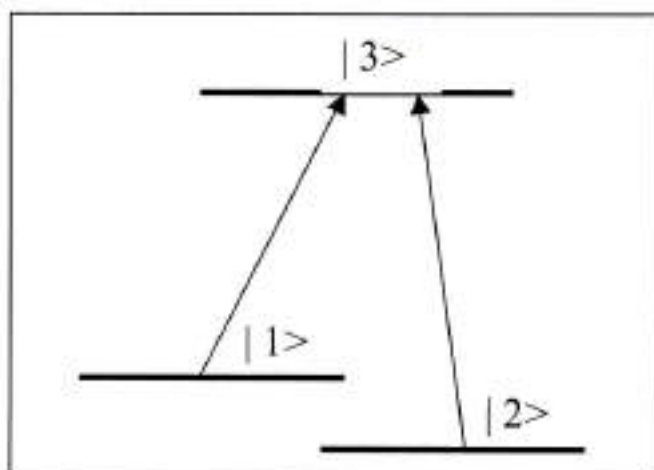


Figura 1. Esquema de un sistema de tres niveles para explicar el proceso de transparencia.

la velocidad de la luz pero no hacen la nube completamente transparente, entonces se apaga el haz de acoplamiento mientras el pulso comprimido y retardado está en el medio. El pulso de luz responde con una parada en seco y se extingue pero la información no se pierde. La información está grabada en los estados de los átomos como en una cinta magnética.

La estructura inmovilizada contiene toda la información sobre el pulso de luz. Por ejemplo, la proporción de los estados 1 y 2 se relaciona con la intensidad del pulso en cada posición. Se tiene un holograma escrito en los átomos de gas que se puede leer encendiendo el haz de acoplamiento. Se puede encender y apagar el haz de acoplamiento varias veces para regenerar el pulso en trozos. El sistema de luz retardada proporciona un método para pasar de los qbits (bits cuánticos) que pertenecen a un sitio e influyen sobre otro fácilmente (los estados cuánticos de los átomos) a los qbits que se desplazan de un lado a otro (fotones). Un proceso esencial en la construcción de computadores cuánticos.

Una vez hemos presentado el estado de miniaturización de los dispositivos usando un solo electrón o un solo fotón llegamos al mundo en el cual se puedan observar los procesos a tiempos realmente pequeños. ¿Cómo observar estos procesos? La respuesta está en usar luz pero no como una onda sino como un pulso que consiste en superponer muchísimos modos. Técnicas que usan pulsos tan cortos como tres ciclos ópticos revelan propiedades fundamentales de la materia.

Pulsos ultracortos

Esto significa muchísimos modos pero oscilando en sincronía perfecta produciendo un pulso intenso. Se usa entonces el prefijo ULTRA para describir estas escalas de tiempo y se habla de fenómenos ultra rápidos o de pulsos de luz ultra cortos. En el futuro se hablará de la Femto-ciencia como hoy se habla de la Nano-ciencia¹³. Esta región se alcanzó a través de mediciones con láseres nuevos que emiten pulsos de luz ultracortos. Pulsos ópticos se pueden comprimir para que su duración sea realmente muy corta, lo que significa ancho de banda de energía muy grande (1,85 a 2,15 eV). La base de este desarrollo es el láser Titanio-Zafiro. Dentro del ancho espectro de amplificación de un cristal de zafiro dopado con titanio se pueden producir pulsos de modo acoplado cuya duración abarque solo unos pocos ciclos ópticos del campo electromagnético. Esta duración tan corta está íntimamente relacionada con un ancho espectral fijo según el principio de incertidumbre de Heisenberg.

La primera generación de láseres de pulsos ultracortos sintonizables usó chorros de colorantes orgánicos disueltos en solventes viscosos. Ellos son de manejo difícil y tienen una potencia promedio de unos milivatios, además, necesitan alta potencia para funcionar. El primer paso hacia láseres de femto-segundos más amigables fue el descubrimiento de cristales de banda ancha que emiten y amplifican longitudes de onda desde el visible al medio infrarrojo. Materiales de banda ancha como Zafiro dopado con Titanio que amplifica longitudes de onda de 700 a 1100 nm y soporta pulsos de hasta 4fs.

El mayor desafío para estos materiales fue producir una secuencia de pulsos y no una onda continua tratando de llevar millones de modos en fase.

Aplicaciones

Láseres en la región de THz ofrecen múltiples aplicaciones desde abrir pequeños huecos en las paredes del corazón para suministrar sangre oxigenada a los músculos cardíacos que tienen vasos bloqueados irreparablemente, y remover pequeños restos de la columna vertebral sin dañar el tejido nervioso adyacente hasta producir imágenes. Los pulsos ultracortos son especialmente efectivos porque su potencia promedio reduce el daño del tejido lateral. Producir imágenes que hasta ahora se basan en colorantes o moléculas naturales que responden a ondas muy cortas como la violeta. Longitudes de onda más largas penetran más eficientemente el tejido y causan menos daño a las células que ondas más cortas. La intensidad se puede ajustar para que la fluorescencia ocurra en el foco del haz dando como resultado una resolución muy alta. Esta técnica produce imágenes tridimensionales de mejor calidad.

En cirugía ocular creando a una profundidad exacta en la córnea una pequeña malla de cavidades interconectadas para corregir la miopía.

Un método similar permite tomar imágenes de microchips a través de su empaque plástico. Se usan rayos T, que es la radiación de THz del espectro electromagnético que corresponde a longitudes de onda entre 15 micrómetros y un milímetro. A longitudes de onda por encima del infrarrojo. Entonces penetran profundamente muchos materiales que son opacos a la luz visible. Muchos de los materiales conocidos son transparentes a los rayos T y ellos brindan imágenes con resoluciones superiores a las obtenidas con micro ondas porque tienen la capacidad de distinguir entre dos materiales muy similares por ejemplo, entre tejido sano y tejido quemado.

Para inspeccionar componentes electrónicas y para prevenir caída de dientes. También serían la solución para detectar armas cerámicas en aeropuertos.

Aplicaciones en Astronomía y atmósfera terrestre.

Como se puede ver las aplicaciones de esta región del espectro electromagnético son muy variadas y significan una mejora sustancial de la calidad de vida de la humanidad. Pero también desde el punto de vista de física fundamental la posibilidad de estudiar los procesos de la dinámica de portadores en tiempos de femto-segundos y su aplicación a más largo plazo en computación cuántica usando los procesos coherentes puramente cuánticos basados en control de la fase de las funciones de onda¹⁴⁻¹⁵.

Bibliografía

1. C. Sirtori, 2002, Bridge for the terahertz gap, *Nature* **417**, (May) 132-133.
2. R. Köhler, A. Tredicucci, F. Beltram, H. Beere, E. Linfield, A. G. Davies, D.A. Ritchie, R. C. Iotti & Fausto Rossi. 2002, Terahertz semiconducting-heterostructure laser *Nature* **417**, (May) 156-159.
3. D.C. Glattli, 1998, Single electrons in silicon drops, *Nature* **393**, (June) 516-517.
4. L.Guo, E. Leobandung & S. Y. Chou. 1997, A Silicon Single-Electron Transistor Memory Operating at Room Temperature *Science* **275** (January) 649-651.
5. P.L.McEuen, 1998, Carbon-Based Electronics, *Nature* **393**, (May) 15-17.
6. L.L.Sohn, 1998, A quantum leap for electronics, *Nature* **394**, (July) 131-132.
7. P.G. Collins & P. Avouris. 2000, Nanotubes for Electronics, *Sci.Am.* (December) 38-45.
8. M.S. Feld & Kyungwon An. 1998, The Single-Atom Laser, *Sci. Am.* (July) 57-63.
9. P. Michler & C. Becher. 2001, Photonen auf Bestellung, *Physikalische Blätter* **57** (9): 55-61.
10. J. Shah. 2000, Ultrafast Spectroscopy of Semiconductors and Semiconductor Nanostructures, 2. Edition, Springer, Berlin.
11. Lene Vestergaard Hau. 2001, Luz inmovilizada, *Innovación y Ciencia* (Septiembre) 4-12.
12. S. E. Harris. 1997, Electromagnetically Induces Transparency, *Physics Today*, (July) 36-42.
13. J. M. Hopkins & Wilson Sibbett. 2000, Big Payoffs in a Flash, *Sci. Am.* (September) 55-61.
14. E. Méndez & G. Bastard. 1993, Wannier-Stark Ladders and Bloch Oscillations in Superlattices, *Physics Today*, (June) 35-42.
15. T.Dekorsy et. al. 2000, Coupled Bloch-Phonon Oscillations in Semiconductor Superlattices, *Phys. Rev. Lett.* **85**(5): 1080-1083.

MAGNETORRESISTENCIA COLOSAL EN MANGANITAS DEL TIPO $La_{1-x}D_xMnO_3$ CON $D= Ba, Ca$

por

R. Jiménez¹, A. Mariño^{1,3} & H. Sánchez²

Resumen

R Jiménez, A. Mariño & H. Sánchez: Magnetorresistencia colosal en manganitas del tipo $La_{1-x}D_xMnO_3$ con $D= Ba, Ca$. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26**(99): 207-212, 2002. ISSN 0370-3908.

Se prepararon manganitas perovskitas del tipo $La_{0.97}Ca_{0.03}MnO_3$ y $La_{0.97}Ba_{0.03}MnO_3$ por reacción de estado sólido. Estas muestras se caracterizaron eléctrica, magnética y estructuralmente y se estudió el efecto que diferentes rutinas de preparación tienen sobre estas propiedades. Los espectros de difracción de rayos X muestran una estructura cristalina cúbica con parámetros de red entre 3.83 y 3.90 Å. Las medidas de resistividad en función de la temperatura presentaron para todas las muestras, un comportamiento metálico por debajo de una temperatura de transición (T_p), la cual varió entre 175 y 250 K, dependiendo de la muestra, mientras que por encima de T_p presentan un comportamiento aislante. Al aplicarse un campo magnético se observó una disminución apreciable de la resistividad y un aumento de la temperatura T_p . El comportamiento aislante en $T > T_p$ se ajusta razonablemente bien a un modelo tipo hopping no adiabático de pequeños polarones.

Palabras clave: manganitas, magnetorresistencia colosal.

Abstract

We prepared doped perovskites manganites of $La_{0.97}Ca_{0.03}MnO_3$ and $La_{0.97}Ba_{0.03}MnO_3$ by the solid state reaction method. The samples were characterized electrically, magnetically, and structurally and the effect of different preparation routines was studied. The X-ray diffraction patterns showed a cubic unit cell with parameter a varying between 3.83 and 3.90 Å. The resistivity measurements as a function of temperature showed a markedly decrease when a magnetic field was switched on. All the samples displayed a transition from metallic to semiconductor behavior at temperatures T_p between 175 and 250 K; this temperature however becomes higher by increasing the magnetic field. The typical semiconductor behavior at $T > T_c$ can be reasonably well fitted to a nonadiabatic small polaron hopping model.

Key words: manganites, colossal magnetoresistance.

¹ Departamento de Física, Universidad de Córdoba, Montería

² Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

³ almarino@ciencias.unal.edu.co

1. Introducción

Las manganitas son perovskitas con estructura química $Re_{1-x}D_xMnO_3$, donde Re es un elemento de tierra rara como La o Nd y D es un ión divalente como Ca , Ba o Sr . Los iones están dispuestos en una celda cristalina cúbica con el elemento Re o D en el centro del cubo, el Mn en los vértices y el O en los puntos medios de las aristas (figura 1).

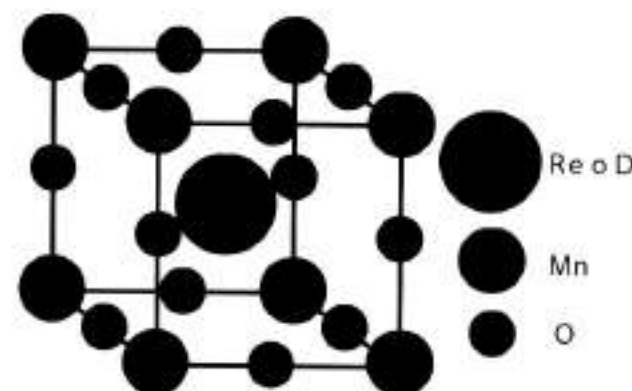


Figura 1: Estructura cristalina de las manganitas. En el centro del cubo se ubica el ion Re o el ion D ; en los vértices los iones Mn y en los puntos medios de las aristas se encuentran los iones O .

Las manganitas se han estudiado por muchos años [1,2] y su interés se ha revivido a raíz del descubrimiento de que en algunos miembros de esta familia, $0.2 < x < 0.5$, se presenta una gran disminución de la resistividad cuando se les aplica un campo magnético [3,4]. Este fenómeno es conocido con el nombre de magnetorresistencia colosal, en donde la magnetorresistencia se define mediante la relación

$$MR = \frac{\rho(0) - \rho(H)}{\rho(0)}, \quad (1)$$

siendo $\rho(H)$ la resistividad con campo magnético aplicado y $\rho(0)$ la resistividad sin campo magnético.

Para el rango de dopado, $0.2 < x < 0.5$ estos materiales presentan una transición de fase, de una fase paramagnética a una fase ferromagnética, acompañada del paso de un comportamiento aislante a un comportamiento metálico [5]. Como el compuesto puro $LaMnO_3$ es un aislante antiferromagnético con interacción de superintercambio entre iones Mn^{3+} por la interacción de las capas d del manganeso con el oxígeno, se ha sugerido que la presencia de iones Mn^{3+} y Mn^{4+} en el compuesto

$La_{1-x}D_xMnO_3$ es lo que origina el ferromagnetismo y el comportamiento metálico mediante el mecanismo del doble intercambio [6-8] el cual involucra la transferencia de electrones entre iones Mn^{3+} y Mn^{4+} . Por otro parte, en la fase paramagnética un fuerte acoplamiento electrón-fonón localiza los electrones de conducción, llevando a la formación de polarones y la conducción se presentaría por hopping de polarones [9].

Por otra parte, las potenciales aplicaciones tecnológicas, principalmente en memorias magnéticas y sensores, al igual que el interés por el entendimiento de fenómenos físicos relacionados con la magnetorresistencia colosal, hacen de estos materiales el objeto hoy en día de intensas investigaciones.

En este trabajo se presentan los resultados de la preparación y caracterización estructural y eléctrica de las manganitas $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ y $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$, y el efecto que diferentes rutinas de preparación tienen sobre estas propiedades.

2. Parte experimental

Se prepararon muestras de $La_{1-x}D_xMnO_3$ con $D = Ba, Ca$ y $x = 0.33$ por el método de reacción de estado sólido a partir de óxidos de alta pureza, La_2O_3 , CaO , BaO y MnO_2 . Los óxidos se mezclaron en cantidades estequiométricas, se molieron finamente, se les hizo un tratamiento térmico a temperaturas de $800^\circ C$, $900^\circ C$ y $950^\circ C$ durante 16 horas en aire y se compactaron. Este tratamiento se repitió 3 veces. Los espectros de difracción de rayos X se tomaron con un difractómetro Philips PW 1820 usando como radiación incidente la línea $K_{\alpha 1}$ del Cu ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) operando con un voltaje del tubo de 40 kV y una corriente de 25 mA , para ángulos entre $20^\circ < 2\theta < 80^\circ$ en pasos de 0.02 grados/s. Los parámetros de red se obtuvieron a partir de los espectros medidos y con la ayuda del programa PCW versión 2.3. La resistividad eléctrica en función de la temperatura se midió con campo y sin campo magnético aplicado entre 0 y 0.5 T utilizando el método de las cuatro puntas. Las muestras con forma de paralelepípedo se montaron en una base de Cu muy cerca de un termómetro de platino ($Pt100$) que se encuentra conectado a un control de temperatura (Lake Shore 330) el cual muestra en todo momento el valor de la temperatura en Kelvin y brinda la posibilidad de mantenerla constante el tiempo suficiente para hacer las medidas. En la muestra se colocaron 4 contactos con pintura de plata: por los dos externos del circuito se hizo circular una corriente eléctrica constante 0.2 mA usando una fuente Keithley

294 y en los puntos internos se midió la diferencia de potencial con un voltímetro Keithley. La resistividad se calculó con la relación

$$\rho = R(\Omega) \frac{a(\text{cm})d(\text{cm})}{L(\text{cm})} \quad (2)$$

donde a es el ancho, d el espesor y L la separación entre los contactos centrales. Los campos magnéticos generados con un electroimán se aplicaron perpendicularmente a la dirección de la corriente. Con los valores de la resistividad y utilizando la ecuación (1) se determinó la magnetorresistencia.

3.2 Resultados y discusión

Cada una de las muestras presenta una estructura cristalina correspondiente a una celda cúbica. Los parámetros de red $a(\text{Å})$ correspondientes a cada una de las muestras se presentan en la tabla 1.

Se observa la disminución del parámetro de red al aumentar la temperatura de preparación lo cual puede ser atribuido a un aumento en el contenido de oxígeno [5]. En efecto, mayor cantidad de oxígeno implicaría menor cantidad de iones Mn^{3+} los cuales tienen radio mayor que los iones Mn^{4+} produciéndose entonces una disminución en el parámetro de red.

En las figuras 2 y 3 se presentan las medidas de resistividad en función de la temperatura y la magnetorresistencia (MR) para $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ (fig. 2) y $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (fig. 3) con diferentes tratamientos térmicos.

Se observa que al aumentar la temperatura, empezando en $77K$ la resistividad se incrementa hasta un valor máximo en una temperatura T_p a partir del cual comienza a disminuir. Generalmente, en estos sistemas la temperatura del máximo de la resistividad es muy cercana a la temperatura de transición de una fase ferromagnética a una fase paramagnética (temperatura de Curie), acompañada del paso de un comportamiento metálico a un comportamiento aislante [1,8,10].

El comportamiento metálico de ρ vs T por debajo de T_p y el ferromagnetismo es atribuido a la interacción de doble intercambio el cual involucra el intercambio de electrones entre pares de iones vecinos de Mn^{3+} y Mn^{4+} a través del ion O^{2-} [6]. El comportamiento por encima de T_p lo atribuyen algunos autores a la existencia de un fuerte acoplamiento electrón-red que localiza los portadores dando lugar a la formación de polarones y la conducción se presentaría por hopping de polarones [7].

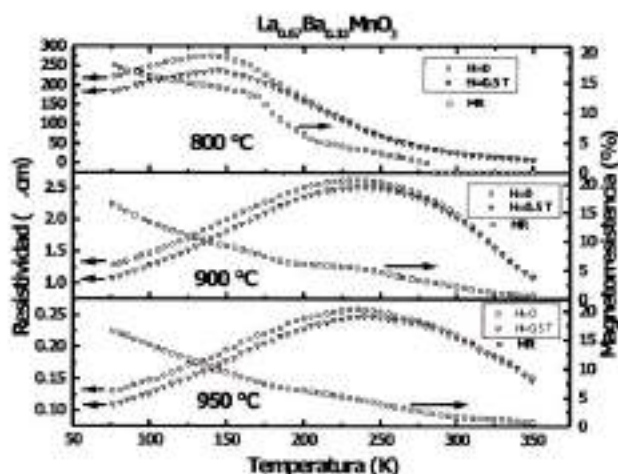


Figura 2: Resistividad en función de la temperatura para $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ con y sin campo magnético aplicado de $0.5T$ y la correspondiente magnetorresistencia (MR) para diferentes tratamientos térmicos: $800^\circ C$ (panel superior), $900^\circ C$ (panel central) y $950^\circ C$ (panel inferior). Cada tratamiento térmico fue realizado durante 16 horas en aire.

Tanto para las muestras dopadas con Ca como para las muestras dopadas con Ba , la resistividad disminuye y la temperatura de transición metal-aislante experimenta un aumento significativo al cambiar el tratamiento térmico de $800^\circ C$ a $900^\circ C$ y no cambia apreciablemente para incrementos posteriores hasta $950^\circ C$ (ver figuras 2 y 3). Las diferencias en la resistividad podrían estar relacionadas tanto con diferencias en el contenido de oxígeno [5] como con diferencias en el tamaño de grano [11]. Las muestras preparadas a $900^\circ C$ y $950^\circ C$ estarían más oxigenadas puesto que si hay más oxígeno existen más parejas de Mn^{3+} y Mn^{4+} , aumentando así la probabilidad del doble intercambio y en consecuencia disminuyendo la resistividad. Por otra parte, un incremento en el tamaño de grano disminuiría las fronteras de grano reduciendo la dispersión de electrones. Estos hechos se correlacionan muy bien con las variaciones observadas de los parámetros de red y con el aumento del tamaño de grano con la temperatura de preparación.

Por otro lado, cuando se aplica un campo magnético la resistividad disminuye y el máximo se corre hacia temperaturas más altas a medida que aumenta la intensidad del campo magnético. La aplicación de un campo magnético incrementa la probabilidad del doble intercambio puesto que induce la alineación con el campo de

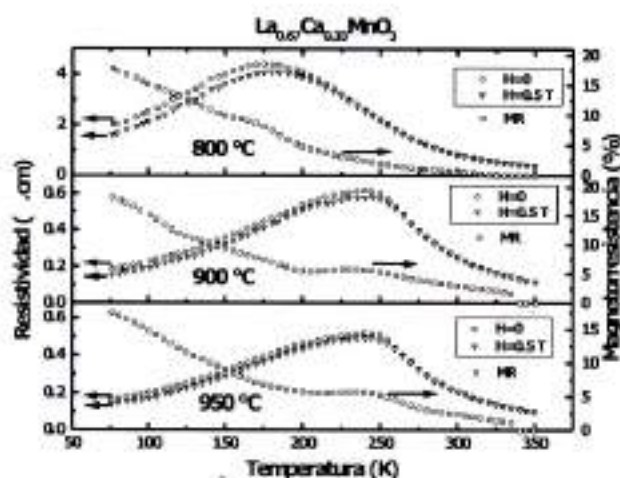


Figura 3: Resistividad en función de la temperatura para $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$, con y sin campo magnético aplicado de $0.5T$. Magnetorresistencia para diferentes tratamientos térmicos: $800^\circ C$ (panel superior), $900^\circ C$ (panel central) y $950^\circ C$ (panel inferior). Cada tratamiento térmico fue realizado durante 16 horas en aire.

Tabla 1: Parámetros de red $a(\text{Å})$ de las manganitas $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ y $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ para cada una de las temperaturas de preparación T .

$T^\circ C$	$La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$	$La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$
800	3.9022(5)	3.8598(6)
900	3.9003(2)	3.8456(16)
950	3.8904(8)	3.8368(18)

los espines de los átomos involucrados (Mn^{3+} y Mn^{4+}) y, en consecuencia, se mejora la conductividad y se favorece la aparición del ferromagnetismo [8].

Todas las muestras presentaron efecto magnetorresistivo apreciable en un amplio rango de temperaturas por debajo de la temperatura de transición. Ver figuras 2 y 3.

En la figura 4 se muestra un ajuste típico de los resultados experimentales en la región aislante de una muestra de $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ y $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ preparadas a $900^\circ C$, a un comportamiento tipo hopping no adiabático de pequeños polarones (NASPH) descrito

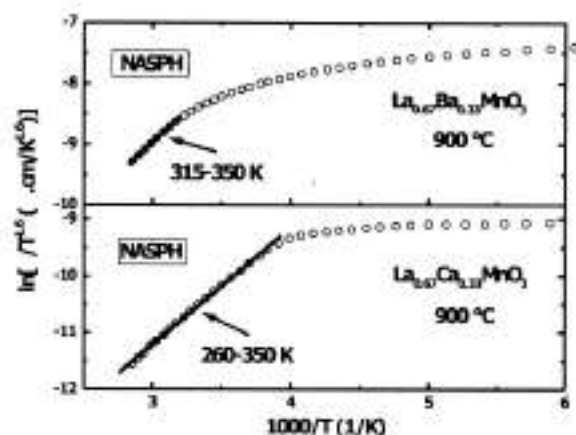


Figura 4: Ajuste de los resultados experimentales en la región aislante de $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ (panel superior) y $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (panel inferior) preparadas a $900^\circ C$ en aire, a una función asociada a un modelo tipo hopping no adiabático de pequeños polarones (NASPH).

por la función

$$\rho = \rho_0 T^\alpha \exp\left(\frac{E_A}{k_B T}\right), \quad (3)$$

donde E_A es la energía de activación y α es un parámetro del orden de 1.6 [9].

Del ajuste se obtiene una energía de activación del orden de 177 meV para $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ y del orden de 180 meV para $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$.

Vale la pena resaltar que el rango de temperaturas para el cual es bueno el ajuste de los datos experimentales al modelo NASPH es dependiente del tipo de muestra (ver fig. 4), pero permanece invariante para muestras preparadas a diferentes temperaturas.

4. Conclusiones

- Se prepararon manganitas del tipo $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ y $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$ por reacción de estado sólido con estructura cristalina correspondiente a una celda cúbica con parámetro de red entre 3.83 Å y 3.86 Å para $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ y del orden de 3.9 Å para $La_{0.67}Ba_{0.33}MnO_3$.
- El parámetro de red disminuye al aumentar la temperatura de preparación y esta variación puede estar relacionada con el contenido de oxígeno de

las muestras. Todas las muestras presentan magnetorresistencia en un amplio rango de temperatura con un máximo del orden del 15% a $T < T_p$.

- La temperatura de transición metal aislante (T_p) aumenta significativamente y la resistividad disminuye con la temperatura de preparación entre 800°C y 900°C, lo cual se puede atribuir tanto a diferencias en el contenido de oxígeno como al aumento del tamaño de grano.
- El comportamiento aislante por encima de T_p se explica razonablemente bien utilizando un modelo de hopping no adiabático de pequeños polarones (NASPH).

Agradecimientos.

Los autores agradecen al Dr. Julio Rodríguez por sus valiosas sugerencias y su colaboración en la realización de las medidas; a la Universidad de Córdoba, por el apoyo económico brindado a R. Jiménez, y a la Universidad Nacional de Colombia por ofrecer los medios necesarios para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] R. Von Helmholt, J. Wecker, B. Holzapfel, L. Schultz, and K. Samwer. Giant Negative magnetoresistance in perovskitelike $\text{La}_{2/3}\text{Ba}_{1/3}\text{MnO}_3$. *Phys. Rev. Lett.* 71 (14), 2331-2333 (1993).
- [2] S. Jin, T. H. Tiefel, M. McCormack, R. A. Fastnacht, R. Ramesh, and L. H. Chen. Thousandfold change in resistivity in magnetoresistive La-Ca-Mn-O films. *Science* 264, 413-415 (1994).
- [3] A. J. Mills. Lattice effects in magnetoresistive manganese perovskites. *Nature* 392, 147-150 (1998).
- [4] P. Schiffer, A. P. Ramirez, W. Bao, and S. W. Cheong. Low temperature magnetoresistance and the magnetic phase diagram of $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$. *Phys. Rev. Lett.* 75 (18), 3336-3339 (1995).
- [5] H. L. Ju, J. Gopalakrishnan, J. L. Peng, Qi Li, G. C. Xiong, T. Venkatesan, and R. L. Greene. Dependence of giant magnetoresistance on oxygen stoichiometry and magnetization in polycrystalline $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{MnO}_3$. *Phys. Rev. B* 51 (9), 6143-6146 (1995).
- [6] C. Zener. Interaction between the d-shells in the transition metals. II. Ferromagnetic compounds of manganese with perovskite structure. *Phys. Rev.* 82 (3), 403-405 (1951).
- [7] A. J. Mills, R. Mueller, and Boris Y. Shraiman. Fermi-liquid-to-polaron crossover. II. Double exchange and the physics of colossal magnetoresistance. *Phys. Rev. B* 54 (8), 5405-5417 (1996).
- [8] J. M. De Teresa, M. R. Ibarra, J. Blasco, J. García, C. Marquina, P. A. Algarabel, Z. Arnold, K. Kamenev, C. Ritter and R. von Helmholt. Spontaneous behavior and magnetic field and pressure effects on $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ perovskite. *Phys. Rev. B* 54 (2), 1187-1193 (1996).
- [9] W. Westerburg, G. Jakob, F. Martin, and H. Adrian. High-temperature transport properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 196-197, 536-538 (1999).
- [10] H. Y. Hwang, S-W, Cheong, P.G. Radaelli, M. Marezio, and B. Batlogg. Lattice Effects on the Magnetoresistance in Doped LaMnO_3 . *Phys. Rev. Lett.* 75 (5), 914-917 (1995).
- [11] R. Mahesh, R. Mahendiran, A. K. Raychaudhuri, and C. N. R. Rao. Effect of Particle size on the Giant Magnetoresistance of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$. *Appl. Phys. Lett.* 68 (16), 2291-2293 (1996).

SEMBLANZA BIOGRÁFICA DE FEDERICO CARLOS LEHMANN VALENCIA

por

Lelvinnova Londoño Díaz*

Resumen

Londoño, Díaz L.: Semblanza biográfica de Federico Carlos Lehmann Valencia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 26(99): 213-228. ISSN 0370-3908.

Abordar la historia intelectual colombiana a través de la semblanza biográfica de un científico, que tuvo trascendencia nacional y vínculos académicos internacionales durante parte de la segunda mitad del siglo XX, implicó la recuperación del fondo de documentos encontrado en el Museo de Ciencias Naturales Federico Carlos Lehmann. Lograr una visión aproximada del ambiente de la época en que el personaje tuvo notoriedad, fue posible al relacionarlo con la consolidación institucional de la biología; al tener en cuenta su origen familiar, al aproximarse a la incidencia sociocultural que pudieron tener, en la segunda mitad del siglo pasado, las crecientes capas medias urbanas, principal mercado cultural de los bienes simbólicos que puso a su disposición Federico Carlos Lehmann.

Palabras clave: Biografía, Museo de Ciencias Naturales, Federico Carlos Lehmann Valencia.

Abstract

To approach Colombian intellectual history through biographical picture of a scientist, who had national importance and international academic bonds during part of second half of century XX, implied the recovery of the documents found in the Museum of Natural Sciences Federico Carlos Lehmann. To obtain an approximated vision of the atmosphere of the time at which the personage had notoriety, was possible by relating it to the institutional consolidation of biology; when considering its familiar origin, by coming to see the sociocultural incidence that it could have in second half of the last century, the increasing of the media class, main cultural market of the symbolic goods that Lehmann did.

Key words: Biography, Museum of Natural Sciences, Federico Carlos Lehmann Valencia.

* Licenciada en Historia Universidad del Valle, Cali. Estudiante graduada del Programa de Historia de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras - Puerto Rico, Investigadora asociada del Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas - INCIVA, Cali. Dirección Postal: Cr. 75 # 6 - 110 Ap. 101, Cali - Colombia. E-mail: lelvinfpv@telesat.com.co

Dracula lehmanniana

Aproximadamente en 1870 Eugene André recolectó y transportó hasta Europa el exótico anturio, el cual registró como *Anthurium andreaeanum* procedente de la Sierra del Darién, en el Norte de América del Sur. Esta flor, de impresionante colorido, se había hecho famosa y codiciada entre los coleccionistas, los invernaderos y jardines europeos, no sólo por su rareza sino también porque los ejemplares de esta especie habían desaparecido.

Tras las huellas del naturalista André, cruzando el istmo de Panamá con rumbo a Ecuador, para luego dirigirse a Colombia por el suroccidente, llegó en 1876 Frederick Carl Lehmann Goldschmidt, un expedicionario alemán que había nacido en Werder, Potsdam, en 1850¹.

Por encargo de firmas horticultoras británicas² Lehmann Goldschmidt llevó hasta Inglaterra nuevos ejemplares de anturios y orquídeas. Tras la gran variedad de plantas y paisajes que ofrecía el Neotrópico atravesó 24 veces el Atlántico desde Europa, en 27 años, para realizar una serie de expediciones por Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Guatemala y Venezuela.

En su primer viaje visitó en Ecuador las regiones de Loja, Cuenca, Quito y Guayaquil; después ingresó a Colombia por Tumaco y Barbacoas para seguir hasta Pasto y después a las selvas del Putumayo y el Valle del Sibundoy.

La exuberante selva, además de anturios, le ofreció otras rarezas, entre ellas una orquídea que clasificó como *Odontoglossum crispum*, planta que, años después Reichenbach, naturalista alemán, denominó *Odontoglossum lehmanni*. Entre varias orquídeas que llevan su nombre algunas son *Dracula lehmanniana* Luer & Escobar, *Masdevallia lehmanni* Rchb.f., *Pescatoria lehmannii* Rchb.f., *Cattleya lehmanni*, *Oliveriana lehmanni*, *Polycycnis lehmannii* Rolfe, *Ada lehmannii* Rolfe, *Catasetum lehmannii* Regel, *Chrysocynis lehmannii* Rolfe, *Dichaea lehmannii* Schltr., *Lepanthes lehmannii* Schltr., entre otras.

Los Lehmann Mosquera

Lehmann Goldschmidt hizo repetidas expediciones por Colombia y la recorrió desde la frontera con el Ecuador hasta Santa Marta, en la Costa Caribe; cruzando la Costa Pacífica para ir hacia los Llanos Orientales, bajando por el río Meta y luego por el Orinoco. Durante sus viajes recolectó gran cantidad de ejemplares botánicos, minerales y aves que además de objeto de estudio le sirvieron para establecerse como comerciante y minero.

Con sus colecciones alimentó las del British Natural History Museum de South Kensington, Inglaterra; las del Jardín Botánico Imperial de San Petersburgo, Rusia; las del Herbario Real Prusiano de Berlín, Alemania, e invernaderos de los Estados Unidos, Inglaterra, Bélgica, Francia, Alemania, Rusia y Suiza.

Al regresar de Europa, en 1885, en el Puerto de Santa Marta conoció a la culta dama payanesa María Josefa Mosquera Epalza con quien se casó un año después. De este hogar nacieron cuatro hijos: Carlos, Hermann, Hermine y Federico, este último murió a los cuatro años de edad.

Establecida la Familia Lehmann Mosquera en Popayán, Frederick Carl fue designado Cónsul General de Alemania del Departamento del Cauca; como tal representó, hasta su muerte, los intereses de alemanes y suizos en este país.

Además de atender sus empresas y ser un diplomático, continuó con sus exploraciones e investigaciones. En estas tareas María Josefa se constituyó en su aliada; ella ayudaba con las acuarelas de hojas y flores que luego serían enviadas a los diferentes Jardines Botánicos de Europa.

En 1892 llegaron de Alemania sus dos hermanos menores, Roberto y Matilde, quienes lo acompañaron por estas tierras como sus socios en las empresas de minería, agricultura y ganadería.

1 El Domingo 24 de Enero de 1971, Enrique Arroyo Arboleda publicó en el Magazine Dominical (página 12), del periódico El Espectador, un artículo en Investigación y Ciencia que tituló "Ciencia Heroica" dedicado a Carlos Lehmann Goldschmidt, Explorador de Colombia. Arroyo dice que Lehmann Goldschmidt nació el 27 de Diciembre de 1850, en la ciudad de Werder del Reino de Prusia correspondiente a la Provincia de Potsdam. En el Archivo Histórico del INCIVA en la Colección Federico Carlos Lehmann Valencia, en una carta de Lehmann Valencia para Armando Dugand dice que su abuelo nació en Platkw, Brandenburgo, Alemania, el 27 de diciembre de 1850. Posteriormente el 18 de Mayo de 1998, en entrevista, el Dr. Álvaro Dueñas Lehmann coincide con el dato proporcionado por Arroyo.

2 "Frederick Carl Lehmann Goldschmidt, trabajó con varias firmas horticultoras inglesas, entre ellas Hugh Low y Cia. Y también suministró plantas al Jardín Botánico de Glasaevin. Envío ejemplares de herbario a Reichenbach en Hamburgo y a Kränzlin en Berlín, con quien publicó muchas de las especies nuevas que descubrió. En 1893 vendió parte de sus ejemplares botánicos y dibujos al Museo Británico y después de su muerte su viuda vendió el resto de la colección (3.172 especímenes de orquídeas, 7.200 de otras plantas y más de 500 dibujos) al Jardín botánico de Kew" Véase: Aspectos Históricos. Vol. II P. 155 Tomado de: Orquídeas Nativas de Colombia 5 Vol. Compañía Litográfica Nacional S.A. editores, Rodrigo Escobar Coordinador y supervisor, Editorial Colina, Medellín 1991.

Aunque nunca fueron claras las circunstancias, se estableció que el estudioso de orquídeas, murió en 1903 durante una expedición por el río Timbiquí, en la Costa Pacífica Caucana. Al parecer no fue víctima de un accidente, sino de ladrones que, para apoderarse del oro que había sacado de su mina, le golpearon en la cabeza y le tiraron al río.

Descendientes del General Mosquera

María Josefa Mosquera Epalza era una de las dos hijas de Aníbal Mosquera Arboleda y de Isabel Epalza Herrera. Aníbal fue el mayor de los hijos legítimos de Tomás Cipriano de Mosquera y Arboleda. Durante los primeros 8 años del matrimonio Mosquera Epalza, la joven pareja vivió en Estados Unidos hasta 1857, cuando "Aníbal se fue al Chocó para administrar unas minas de su Padre, e Isabel se fue a vivir a Santa Marta con sus hijas Amalia Elvira y María Josefa, y con su madre"³. Según el historiador William Lofstrom, en la correspondencia que se encuentra en la colección Mosquera de la Biblioteca Luis Ángel Arango, se refleja que el matrimonio entre Aníbal e Isabel terminó luego de dejar Estados Unidos, posiblemente por las desavenencias conyugales motivadas por la dependencia económica de Aníbal con respecto a su Padre.

Sin embargo, según otro historiador, Gustavo Arboleda, Amalia, la hija mayor de Aníbal Mosquera, nació en Nueva York; María Josefa y Tomás Cipriano nacieron en Santa Marta mientras Aníbal se desempeñó como Administrador de la Aduana; y un último hijo, Manuel José que nació en París, durante su gestión como Secretario de la Legación en Francia⁴.

Los hermanos Mosquera Epalza fueron educados en varios idiomas, inglés y francés, además de poseer amplios conocimientos de música y de literatura.

María Josefa, siendo muy joven quedó viuda del italiano Raimundo Doria. De este matrimonio tuvo dos hijos varones Luis y Tomás; el segundo de ellos fue "un distinguido médico y hombre de estudio"⁵, profesor de latín e Historia Natural de la Universidad del Cauca

En Popayán, en 1886, María Josefa Mosquera Epalza, nieta del General Tomás Cipriano de Mosquera, se casó en segundas nupcias, con el alemán Frederick Carl Lehmann Goldschmidt.

El 3 de Noviembre de 1889 nació el hijo mayor del matrimonio Lehmann Mosquera, bautizado con el mismo nombre de su padre, Federico Carlos.

Federico Carlos Lehmann Mosquera se educó en el Real Colegio de Berlín en Alemania, donde permaneció alrededor de 10 años, incluso cuando en 1903 falleció su padre. María Josefa, decidió no avisarle de tal acontecimiento hasta que él concluyera sus estudios y regresara a hacerle frente a la responsabilidad de ser el hijo mayor de su segundo matrimonio. Retornó a su tierra contando con los conocimientos para hacer de la agricultura y la ganadería una empresa que proporcionó a sus hermanos las condiciones para educarse⁶.

Lehmann Mosquera se casó con Lola Valencia Segura⁷, en Popayán, el 28 de junio de 1913. Al año siguiente, el 23 de marzo, nació el primogénito de la tercera generación Lehmann en Colombia.

El 7 de abril de 1914⁸, pocos días después de nacido Federico Carlos Roberto Lehmann Valencia⁹ perdió a su madre, quedando bajo los cuidados de su abuela paterna doña María Josefa Mosquera Epalza.

La infancia de Federico Carlos Lehmann Valencia transcurrió entre los mimos y la disciplina de su abuela, quien

3 LOFSTROM, William, *La vida íntima de Tomás Cipriano de Mosquera*. Banco de la República. El Áncora Editores. Bogotá, 1996. p. 216.

4 ARBOLEDA, Gustavo, *Diccionario biográfico y genealógico del antiguo Departamento del Cauca*, 2 edición, Bogotá, 1962. p. 278-279.

5 ARBOLEDA, José María, *Biografía del padre Gómez*. Popayán, 1951.

6 Según se pudo establecer en las entrevistas con Fabricio Lehmann González y con Eduardo Restrepo Doria, Popayán, junio 21 de 1999, fue fundamental el apoyo que Federico Carlos Lehmann Mosquera brindó a su hermano medio Tomás Doria Mosquera, mientras terminó de estudiar Medicina en la Universidad Nacional en Bogotá, éste tuvo por acudiente al General Rafael Reyes.

7 El Periódico *La Paz*, Popayán, Julio 8 de 1913, publicó el "Soneto Nupcial" que Miguel Valencia Cajiao dedicó a su hija el 28 de Junio de 1913.

8 En Popayán el Periódico *La Paz* del 12 de abril y de mayo 10 de 1914 publicó las palabras del Dr. José Hilario Cuéllar ante el cadáver de la señora doña Lola Valencia Segura de Lehmann; la poesía escrita por Miguel Valencia Cajiao, el padre de la difunta, y un soneto "Playas del Magdalena" que firma Ángela Valencia Segura.

9 Entrevista a Roberto Lehmann González, Popayán Febrero 26 de 1999.

transmitió sus amplios conocimientos de inglés, francés y alemán a su nieto, además de enseñarle a tocar el piano y el gusto por la música culta. También entregó a su nieto el espíritu investigador y naturalista de su abuelo, junto con una amplia biblioteca que había sido nutrida por textos que pertenecieron al General Tomás Cipriano de Mosquera, los libros de consulta del abuelo alemán y los que más recientemente habría traído su padre de Alemania. Entre otros textos, pudo conocer desde sus primeros años, las obras de Historia Natural de Buffon, La Condamine, Cuvier, Lamarck y Humboldt, además de preciosísimos catálogos de plantas, aves, mamíferos y serpientes de diferentes partes del mundo, por diversos autores y en varios idiomas¹⁰.

En el gran solar de la casona colonial de la abuela, en la Calle de los Bueyes en Popayán, Federico Carlos aprendió a amar, a observar y a respetar la naturaleza. Doña María Josefa o "Mamá Pepita", como era llamada cariñosamente, permitió que el inquieto muchacho tuviera algunos mamíferos pequeños, aves y hasta serpientes que de vez en cuando lograban burlar la tapia causando intranquilidad entre los vecinos¹¹.

En su padre, un protestante por convicción, encontró la imagen de un hombre persistente y tenaz que dedicó toda su vida a trabajar la tierra. Todas las madrugadas salía en su caballo rumbo a la finca "La Capilla"¹², en Cajibío, Cauca.

Siendo Federico Carlos un adolescente, su padre se casó por segunda vez, en Bucaramanga, Santander, en 1928, con doña Leonor González. Para ambos matrimonios, celebraciones católicas, el señor Lehmann Mosquera consiguió concesiones especiales que le permitieron llevar a cabo el rito sin ser católico. De esta unión nacieron: Leonor, Roberto, Fabricio, Federico e Hilde.

El nuevo hogar se ubicó muy cerca de la casa Lehmann Mosquera, y allí siempre hubo un lugar especial para Federico Carlos, quien encontró en Leonor mucho afecto.

La escuela de niños de los Hermanos Maristas

Como producto de repetidos esfuerzos de la Sociedad de Padres de Familia de Popayán, y de un contrato cele-



Foto 1. Federico Carlos Lehmann Valencia, 1920.
(Archivo fotográfico del Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas - INCIVA).

brado en Roma en 1889, se instalaron en la ciudad los Hermanos Maristas, al lado de la Iglesia Nuestra Señora del Carmen, para que fueran los maestros de la niñez de aquella época. "Como todos los muchachos payaneses, Federico Carlos acudió a recibir las primeras letras en el Colegio del Carmen"¹³.

Un alumno marista, rico o pobre, "—a todos los recibían—"¹⁴, era instruido y educado cristianamente, la garantía de ser un buen ciudadano preparado para la vida eterna.

10 Entrevista a Holga Lehmann Mosquera y a Roberto Lehmann González, Popayán 25 y 26 de febrero de 1999.

11 Entrevista con Fabricio Lehmann González. Popayán, febrero 13 de marzo de 1998 y febrero 25 de 1999.

12 Entrevista con Fabricio y Roberto Lehmann González. Popayán, febrero 25 y 26 de 1999.

13 Entrevista con Lihín Paz. Cali, julio 14 de 1998.

14 Entrevista con el padre Francisco Regis, de la comunidad de los Hermanos Maristas. Popayán, Colegio Champagnat, julio 22 de 1999.

Los discípulos de la Congregación Marista de lunes a sábado se reunían en un pabellón¹⁵, exceptuando las tardes de los jueves, destinadas para descansar o jugar fútbol en los potreros cercanos, y los domingos, que vestidos con uniforme de gala, con zapatos, si se podía, y con el misal en la mano, asistían a la iglesia para la celebración de la eucaristía. Una rutina que se hacía todos los años, mientras duraban los cinco de la primaria, que podían ser seis, si se contaba con una familia que tuviera con que pagar el año adicional, garantía de una educación preferencial.

Las calificaciones de las semanas se leían después de la misa dominguera, y al mejor estilo del método lancasteriano, el alumno sobresaliente era premiado con la responsabilidad de dictar clase o tomar las lecciones de sus compañeros de menor grado. El maestro, guía y amigo de sus estudiantes, distribuía un día de clase entre aritmética, para que aprendieran las cuatro operaciones, los números enteros, decimales y quebrados, geografía, con tareas prácticas que incluían la elaboración de mapas, historia natural, para clasificar plantas y animales que luego quedaban entre las colecciones de un pretendido museo. Cultivaban la huerta, además de dictar francés desde primer grado, latín en cuarto, quinto y sexto grado, mientras que inglés se dejaba para los dos últimos años. Enseñaban gramática, teatro, música, lectura de notas musicales, armonio, canto, himnos patrióticos y trabajos manuales, como encuadernación, imprenta y carpintería.

La Universidad del Cauca y Tomás Doria Mosquera

El 24 de septiembre de 1929 con la matrícula número 00040 y con 15 años de edad entró Federico Carlos

Lehmann Valencia a la Universidad del Cauca, para cursar el primer año de bachillerato¹⁶. El acudiente fue su tío Tomás Doria Mosquera (Bogotá 1882 - Popayán 1960¹⁷) un hombre erudito, naturalista, músico, políglota, latinista, poeta, escritor y médico, de la Universidad Nacional en Bogotá. Fue profesor de latín e historia natural de la Sección de Bachillerato y de la Facultad de Derecho, en Medicina Legal, de la Universidad del Cauca. Además, miembro de número del Centro de Historia del Cauca y colaborador de la revista *Popayán* y del periódico *El Liberal*, en los que publicó sus poesías y sus trabajos científicos¹⁸.

Los años de bachiller de Federico Carlos Lehmann transcurrieron entre 1929 y 1934¹⁹; asistió a los cursos de Religión I, Castellano, Aritmética, Francés, Latín, Geografía y Cosmografía, Álgebra Elemental, Historia Patria y Moderna, Inglés, Geometría Elemental, Trigonometría Plana, Contabilidad, Física, Química, Filosofía, Retórica, Dibujo y Ciencias Naturales. En 1932, al parecer algo significativo sucedió en su cotidianidad; se matriculó en un curso libre, en lugar de quinto y sexto de bachillerato. Y en los registros no figuró como católico, si no como protestante a cargo de su padre, Federico Carlos Lehmann Mosquera.

La vida universitaria, según lo dispuesto por el rector Rafael Obando Rebolledo²⁰, en la resolución número 31 A de 1930, permitía que los alumnos que estuvieran al día con sus estudios se dedicaran los sábados a otras actividades intelectuales y a la práctica del desarrollo físico, exceptuando el año en que se celebraba la Fiesta del Estudiante.

Los ejercicios pedagógicos, dispuestos por los profesores desde el viernes y calificados el lunes, incluían cla-

15 Un gran salón de clases donde permanecían juntos todos los niños que asistían a los diferentes cursos de la Escuela Primaria.

16 Para ser bachiller en el Popayán de la época había tres posibilidades, irse de la ciudad, estudiar en el Seminario Menor o en la Universidad del Cauca. En un libro de registro de los alumnos de primer año de bachillerato del Seminario, en 1929, encontramos a Federico Carlos Lehmann Valencia, quien aparece sin ningún tipo de calificaciones o notas.

17 El Periódico *El Liberal* del jueves 7 de abril de 1960 y la Revista *Popayán* de abril 13 del mismo año, publicaron varios artículos a propósito de la muerte del Dr. Tomás Doria el día 6 del mismo mes.

18 Por ejemplo un artículo titulado "Algo sobre fiebre amarilla" y el poema "Joyel Marino" publicados en la Revista *Popayán* de enero de 1916 y de mayo de 1919, respectivamente.

19 Sabemos por el tomo de matrículas del año lectivo 1933 - 1934, en el Archivo Central del Cauca, que Federico Carlos Lehmann Valencia asistió al curso 6° de bachillerato entre octubre 5 y junio 30 del mismo año lectivo. Pero no pudimos constatar su grado de Bachiller por la ausencia del tomo correspondiente. Para el año siguiente, 1934 - 1935, la Ley 56 de 1927 establecía que los bachilleres que desearan ingresar a alguna Facultad universitaria deberían someterse a un examen especial, que se llamó "de matrícula"; no se encontró que estuviera matriculado o que hubiese presentado algún tipo de examen.

20 Según Arcesio Aragón en su *Historia de la Universidad*. Monografía Histórica de la Universidad del Cauca, 1977, p. 16 y 17. Rafael Obando Rebolledo tomó posesión de la rectoría el 21 de agosto de 1930. Obando Rebolledo nació en Popayán el 12 de agosto de 1888, descendiente del General José María Obando y abogado de profesión, se desempeñó como catedrático, vicerrector y rector de la U. del Cauca en diferentes periodos.

ses de 7 a 8 de la mañana, preparar las tareas, requisito para la admisión a los exámenes trimestrales, durante un cuarto de hora por materia de modo que pudieran atender las cinco en que, por lo general, estaban matriculados. Los internos salían de paseo entre la 8 y las 10 y media de la mañana acompañados por tres pasantes. Entre las dos y las tres de la tarde los profesores dictaban conferencias cuya asistencia era obligatoria para todos los estudiantes de bachillerato. Cuando no había conferencia, entre las 12 y las cinco de la tarde las instalaciones de la Universidad podían ser usadas para las actividades de las sociedades culturales de los bachilleres.

Cada año, al cumplirse el aniversario de la fundación del Instituto, se celebraban actos conmemorativos, en las primeras horas de la noche, con invitados especiales. En el Paraninfo se llevaban a cabo veladas, cuya apertura correspondía al Rector de turno con un discurso; luego algún profesor comisionado disertaba acerca de la fundación y elogiaba a los personajes que intervinieron en ella, la fecha siguiente al aniversario, después de una misa, a la que asistía toda la comunidad universitaria, tenían lugar juegos atléticos en el patio principal, en todos los actos intervenía la Banda de Música Militar y las damas distinguidas de la ciudad o la sociedad de alumnos hacían regalos que contribuían al ornato del local.

Desde el 1 de octubre de 1931 hasta el 31 de diciembre del mismo año, se encargó de la rectoría de la Universidad, interinamente, don Maximilano Tello, quien se desempeñaba como director de Educación Departamental. Tello oriundo de Santander de Quilichao, nació en 1870. En enero de 1932 se hizo cargo de la rectoría el Dr. César Uribe Piedrahíta (Medellín, 16 de noviembre 1897) hasta el 30 de septiembre de 1933. Uribe Piedrahíta doctor en Medicina y Ciencias Naturales de las Universidades de Antioquia, Harvard y Boston; fue profesor de parasitología, bacteriología y veterinaria de la Universidad Nacional, director del Instituto Nacional de Higiene, miembro de la Academia de Ciencias Físicas, Exactas y Naturales de Colombia y autor de varias novelas y libros de ciencia. El Dr. Uribe trajo a la Universidad del Cauca

un ambiente renovador y se preocupó en su plan educativo por promover los deportes físicos entre los alumnos. Durante una breve ausencia del Dr. Uribe, fue nombrado Rector Interino el médico, escritor, poeta y hombre de negocios, Carlos Villamil (Santander de Quilichao, 9 de febrero de 1890). Desde el 30 de septiembre de 1933 hasta el 31 de enero de 1934 se encargó también como rector interino, al ingeniero bogotano Efraín Salazar Silva. Del 10. de febrero de 1934 hasta el 2 de enero de 1935 tomó posesión de la rectoría don Jeremías Cárdenas, periodista, quien fue sucedido por Guillermo Fischer, médico, hasta el 30 de septiembre del mismo año²¹.

Para el año lectivo de 1934 a 1935, "funcionaban, además del bachillerato (clásico y técnico) las Facultades de Derecho y Ciencias Sociales, Ingeniería y Matemáticas, Sección de Mecánica, Escuela Politécnica de Artes y Oficios, Escuela de Agronomía (en la Granja Modelo de La Florida). Reorganizaron la Academia de Pintura y el Conservatorio de Música. Comenzaba también en aquella época, el Taller de Tipografía, con su sección de zincogrado y fotogrado, para la enseñanza de este arte y para regularizar la publicación de las revistas de estudios, programas de enseñanza, las tesis de grado, etc"²².

Por nombramiento de la Gobernación, tomó la investidura de la rectoría el 1 de octubre de 1935 el Dr. Antonio José Lemos Guzmán²³, quien continuó ejerciéndola hasta el 10. de abril de 1940²⁴. El Dr. Lemos con un plan de orientación y extensión cultural, a través de conferencias semanales en el Paraninfo, conectó al público con las enseñanzas universitarias. Entre los conferencistas figuraron por ejemplo Tancredo Nannetti, quien disertó sobre la misión de la Corte Suprema de Justicia, José Rafael Cabanillas, acerca de las leyes fundamentales de la biología, Jacinto Jijón Caamaño, ecuatoriano, habló sobre la prehistoria del suroccidente colombiano y la fundación de Popayán; Víctor Aragón analizó la Constitución Política de 1886 desde una perspectiva sociológica; el profesor Karl Brunner, de la Universidad de Viena, disertó sobre Urbanismo y el Arte de Construir, aspectos urbanos de Bogotá y de Popayán²⁵.

21 *Ibidem*, p. 17 - 19.

22 "Vida Universitaria". Revista Popayán, No. 160 de 1935.

23 Antonio José Lemos Guzmán, nació en Popayán el 28 de noviembre de 1901, estudió bachillerato en el Seminario Menor y en la Universidad del Cauca; cursó luego Medicina en la Universidad Nacional de Bogotá, terminó sus estudios en la Universidad de Santiago de Chile donde recibió el título de doctor en 1928. Es el conocido biógrafo de José María Obando.

24 Monografía Histórica de la Universidad del Cauca, *Op. Cit.*, p. 21.

25 Revista Popayán, números 160 y 161 de 1935 y del 163 al 165 de 1936.

De estudiante a cofundador y primer director del Museo de Zoología de la Universidad del Cauca

Mientras permaneció en la rectoría Antonio José Lemos Guzmán, se establecieron nuevos servicios y dependencias en la Universidad, entre ellas la Facultad de Ingeniería Industrial, el Fondo Acumulativo, la Escuela de Artes y Oficios, la Facultad de Ingeniería Civil (para estas dos últimas se compró la casa próxima al edificio de la Universidad). Se montaron laboratorios completos de física y química, y se organizaron el Liceo de Bachillerato y su respectiva Biblioteca. Fundó el Instituto de Estudios Cooperativos, bajo la dirección del español Antonio Fabra Rivas, y en 1936 el Centro de Estudios Etnográficos, que comprendía los Museos de Botánica, Zoología, Historia y Etnología.

El Museo de Zoología abrió sus puertas el 1 de septiembre de 1936, bajo la dirección del joven bachiller Federico Carlos Lehmann Valencia²⁶, como un centro de investigaciones y de proyección a la comunidad, cuyos objetivos además de educativos y culturales giraron en torno a la indagación de los recursos naturales del país, especialmente la región suroccidental. El Museo se instaló en un salón de estudio del Liceo de Bachillerato con una colección de aves montadas para exhibición, que Lehmann Valencia y el taxidermista sueco Kjell Von Sneidern le habían vendido a la Universidad.²⁷

El discípulo de Enrique Pérez Arbeláez

En febrero de 1972 escribía, Federico Carlos Lehmann Valencia a Teresa Arango Bueno²⁸ lo que significaba para él la muerte del doctor Pérez Arbeláez (Bogotá, 22 de enero de 1972), su compañero y amigo dilecto, quien además había sido su maestro ejemplar desde 1938, cuando con una carta le ofreció una posición en el Instituto Botánico en Bogotá: *"Yo creo que las cosas son el hombre que las dirige, por eso quiero que usted se vincule a nuestro Instituto, con la esperanza de llegar a ser más tarde el propulsor de la conservación de los recursos naturales en Colombia"*²⁹.

En 1927 Luis María Murillo, entomólogo del Departamento Nacional de Agricultura, había iniciado labores

en la Sección de Sanidad Vegetal y la dividió en tres departamentos: botánica, fitopatología y entomología; él se encargó del último y para los otros gestionó ante el ministro José Antonio Montalvo la elección del ilustre botánico Pérez Arbeláez, graduado en la Universidad de Munich, y el agrónomo Antonio Miranda, de la Escuela Agrícola de Gembloux.

Enrique Pérez Arbeláez, con más experiencia que Luis María Murillo, se propuso transformar la sección de Sanidad Vegetal en una institución de mayor envergadura dentro de la Ciudad Universitaria. La formaban entonces el Instituto de Biología del Ministerio de la Economía y el de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional, que terminaron siendo una sola cosa, no por orden gubernamental alguna, sino por la manera de hacer las cosas de sus funcionarios. En octubre de 1936, Pérez Arbeláez logró su propósito de crear un Departamento de Botánica en la Universidad Nacional, que en pocos años sería el Instituto de Ciencias Naturales.

En 1938 el Departamento de Botánica fue adscrito al Museo de Ciencias Naturales y según el acuerdo número 5 de 1939, cambió el nombre de Departamento a Instituto de Botánica, tal como había sido propuesto en 1936. El acuerdo número 128 de 1940 creó el Instituto de Ciencias Naturales, con base en el Instituto de Botánica y al cambio de nombre se añadió la creación de las secciones de botánica, ornitología y entomología³⁰.

Para el doctor Pérez Arbeláez era urgente y estratégico consolidar un grupo de trabajo en ciencias naturales, ya que aquella época, en que repercutía en el país la crisis económica mundial de 1929, era incierta para lo relacionado con las ciencias biológicas y mucho más para las especializaciones, como la ornitología y la entomología. En una oportunidad el Instituto de Ciencias Naturales había sido sacado del edificio donde funcionaba en la Ciudad Universitaria, con su personal, sus laboratorios, sus colecciones y su prestigio, hacia la granja de "La Picota" por solicitud del rector de la Universidad Nacional, Luis López de Mesa, quien destinó las instalaciones para alojar una Facultad³¹.

26 Cargo que desempeñaría en repetidas ocasiones durante su vida.

27 Entrevista a Kjell von Sneidern, Cali, marzo 16 de 1999.

28 Durante veintiséis años fue la colaboradora más cercana del doctor Pérez Arbeláez.

29 Carta de Federico Carlos Lehmann Valencia a Teresa Arango Bueno, febrero de 1972. Archivo Histórico del INCIVA, Colección Federico Carlos Lehmann Valencia, Sección Documentación Personal, Folio 58.

30 ANDRADE, Gonzalo. "Apuntes a la historia de la entomología en Colombia" en: *Insectos de Colombia Estudios Escogidos*, Gonzalo Andrade, et al, editores, 1996. P. 27 y 28.

31 Ibid.

Enrique Pérez Arbeláez propició el encuentro entre científicos, o por lo menos académicos y empíricos, se rodeó de especialistas nacionales y extranjeros, entre otros Hernando García Barriga, Roberto Jaramillo, Gabriel Gutiérrez, José Cuatrecasas, Richard E. Shultes, el padre Lorenzo Uribe, Rafael Romero Castañeda, Jesús María Duque Jaramillo, Rafael Obregón³² y atrajo al Instituto Botánico a jóvenes colaboradores como Federico Carlos Lehmann Valencia y José Ignacio Borrero, que tenían alguna trayectoria en las tareas de los naturalistas.

Tres años después de culminar el bachillerato, Federico Carlos Lehmann Valencia, se trasladó, con su esposa e hijos: María Elisa Olano, Guillermo, Luz y Elsa, a Bogotá acreditado con la iniciación que le permitió Antonio José Lemos Guzmán en el Museo de Zoología de la Universidad del Cauca, y con el porte de apellidos prestigiosos de la sociedad payanesa. Sus antecedentes familiares y su posición social preeminente le abrieron las puertas del grupo de trabajo de Pérez Arbeláez que a la postre legitimaría su imagen de científico ante la sociedad.

Las indagaciones por los recursos naturales, en adelante se canalizarían en Colombia en dos vertientes. La una en el campo educativo universitario, el semillero de los fundadores y profesores de los Departamentos de Biología, por ejemplo José Ignacio Borrero en la Universidad del Valle en la década de los 60, y la otra en el campo de la conservación y la protección de los recursos naturales, usando como una de sus estrategias la producción y la divulgación del conocimiento científico a través de los museos de historia natural. Este tipo de museos fueron escenarios de la paciente labor de recolección, montaje, preservación e identificación de diferentes plantas y animales.

La Sección de Ornitología del Instituto de Ciencias Naturales, fue el lugar donde Federico Carlos Lehmann Valencia hizo su primer gran aporte al estudio de las aves mediante el enriquecimiento de las colecciones que permitirían sus posteriores investigaciones y las de otros colegas nacionales y extranjeros.

La proyección de este instituto y de su director le accedieron ponerse en contacto con otros naturalistas y conservacionistas de diferentes partes del mundo que le



Foto 2. Federico Carlos Lehmann Valencia, 1939. Excursión del Instituto de Ciencias Naturales por el río Meta, Colombia (Archivo fotográfico del Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas - INCIVA)

dieron otra dimensión del significado social de su trabajo y de la necesidad de definir y legitimar unos problemas de investigación.

Los estudios zoológicos en la Universidad Nacional

En 1938 la muestra zoológica del Museo Nacional fue trasladada al Instituto Botánico. Según el mismo Lehmann³³, recibió una colección de ejemplares abundante y variada, con algunos animales muy interesantes pero, poco preparados y carentes de datos de recolección, que los despojaban de algún valor científico. Los especímenes estaban algunos deformes y otros adulterados en la coloración de los ojos y otras partes del cuerpo. En enero del siguiente año se encargaría del cuidado de dicha colección y de obtener nuevos materiales, que sirvieran para hacer estudios de taxonomía y distribución, a través de expediciones de recolección por todo el país. Nuestro ornitólogo se interesó especialmente por las aves de presa, o rapaces, de las cuales nutrió con

32 ARANGO Bueno, Teresa. Enrique Pérez Arbeláez su vida y su obra. Fondo FEN, Biografía de las Ciencias en Colombia. Bogotá, 1992. p. 24.

33 LEHMANN, Valencia, Federico Carlos. *Los estudios zoológicos en la Universidad Nacional*. Archivo Histórico del INCIVA. Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Documentación Personal. Ensayos. Folios 75 - 79.

abundancia la institución a su cargo, permitiendo el esclarecimiento de la distribución y la identificación de ciertas especies³⁴. Este tipo de trabajos impulsados por la Universidad Nacional, en ocasiones en compañía de comisiones de universidades y museos extranjeros, fue el que posibilitó el estudio sistemático de la fauna colombiana, gran parte desconocida para la época dentro de las fronteras del país. Como parte de su trabajo también estaba la colección de exhibición, la cual compuso con ejemplares montados con todos los "requisitos de la taxidermia moderna"³⁵ para permitir a los visitantes, generalmente artistas, dibujantes y profesores de zoología con sus alumnos de los colegios y escuelas de la capital, hacerse una idea concreta de las características particulares de los animales que contemplaban.

Federico Carlos Lehmann Valencia se diplomó como taxidermista de la escuela correspondiente de Northwestern en Omaha, Nebraska. Se capacitó por correspondencia, él recibía la literatura y las instrucciones necesarias y a vuelta de correo debía enviar los trabajos pedidos que le otorgarían el título³⁶.

El Comité Internacional Para la Defensa de las Aves³⁷

En 1935 el Comité Internacional para la Defensa de las Aves, con sede en Nueva York, hizo una petición al Departamento de Estado en Washington, solicitando ayuda para adquirir información referente al estado de las leyes destinadas a proteger las aves y los animales silvestres en Colombia, así como también el nombre del departamento del gobierno colombiano a cuyo cargo estaba la obligación de hacer cumplir tales leyes.

La Legación de los Estados Unidos en Bogotá, después de haberse comunicado con las autoridades colombianas informó el 13 de enero de 1936 lo siguiente: "En Colombia no existen leyes relativas a la conservación de las aves silvestres. A petición del Club de Cazadores de Bogotá, dos pequeñas poblaciones prohibieron la recolección de huevos de patos salvajes. Como no hay leyes que hacer cumplir, no existe oficina del gobierno organizada con tal fin".

Tomás Gilbert Pearson, fundador del Comité y presidente de la Sección Panamericana, llegó a Bogotá el 15 de Junio de 1940 con cartas de presentación del señor Cordell Hull, Secretario de Estado de los Estados Unidos, y de prominentes naturalistas norteamericanos. Con la asistencia del Embajador Spruille Braden, fue puesto en contacto con varios ornitólogos colombianos y otras personas interesadas en la protección de las especies salvajes, entre ellos Enrique Pérez Arbeláez y Federico Carlos Lehmann Valencia del Instituto de Ciencias Naturales. Inmediatamente se esbozaron los planes para empezar un movimiento activo a favor de la protección y conservación de la vida animal.

Tres días más tarde fue publicado el decreto presidencial número 1157 de 1940, que prohibía: "el empleo de métodos de pesca y caza que fueran perjudiciales a la conservación de las especies". También especificaba el decreto que: "El gobierno por medio de reglamentos que se expedirán con este objeto, indicará los métodos o sistemas de caza y pesca que son ilegales, las épocas de veda y la manera como se harán efectivas las sanciones".

En reunión llevada a cabo en la casa del Dr. Enrique Pérez Arbeláez, en Junio 27 de 1940 se delegó como primer presidente de la "Sección Colombiana del Comité Internacional para la Defensa de Las Aves" a Federico Carlos Lehmann Valencia. Una de las primeras tareas de la sección colombiana sería decidir exactamente cuáles reglamentaciones deberían sugerirse al Presidente Eduardo Santos, para que fueran incluidas en un segundo decreto que se publicaría sobre la protección de la fauna colombiana.

Después de algunos meses fue publicado por el Presidente Santos el Decreto número 459 del 7 de marzo de 1941 y sería esta la ley que regularía en Colombia el estado legal de la preservación de la fauna. Este decreto se hizo efectivo desde el 1o. de abril del mismo año y los puntos principales pueden resumirse como sigue: Se establece la veda inicial o prohibición de caza por el término de diez años para ciertas especies de aves que incluyen el pellar o correlona, las garzas, mirlos, carpinteros, gorriones, entre otros. Para los patos y gansos de todas clases, que hasta

34 Un ejemplo se constituye el estudio sobre el Género *Morphnus* publicado en la revista del Instituto de Ciencias Naturales *Caldasia*, 7: 165 - 179, junio, 1943.

35 LEHMANN, Valencia, Federico Carlos. Op. Cit.

36 Entrevista a Ludibia Marulanda, febrero 22 de 1999, taxidermista del Museo Departamental de Historia Natural de Cali y quien obtuvo su diploma de la misma forma, y Kjell von Sneidern, Cali, marzo 16 de 1999.

37 Correspondencia con Tomás Gilbert Pearson, 1940-1941, Archivo Histórico del INCIVA, Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 29 - 64.

entonces se cazaban libremente, habría siete meses de veda del 10. de abril al 10. de noviembre, la caza de las palomas y torcazas sería permitida del 10. de agosto al 10. de noviembre, en todo el país podrían ser cazados los tinamús o gallinas de monte y otras galliformes desde el 10. de marzo al 30 de noviembre de cada año. Otra medida establecía la prohibición de la venta de tales aves durante la época de veda. Las becadas o aves zancudas, podrían ser cazadas únicamente durante cuatro meses del año, las loras y pericos podrían matarse cuando se tratara de proteger los cultivos. Se prohibía la caza del venado hembra, pero todo el tiempo estaría permitida la caza del jaguar, puma, gatos de monte o tigrillos, armadillos, monos y caimanes. Se establecieron cinco años de veda para los osos hormigueros, palmeros u hormigueros terrestres y las martas plateadas. Se prohibía también la caza de nutrias, aulladores rojos, tigrillos, zorros, chuchas y ratas de agua y algunos otros mamíferos mientras no alcanzaran determinadas dimensiones. Los veedores del cumplimiento de la ley serían los alcaldes y los concejos municipales. Los permisos para obtener ejemplares de aves, mamíferos y peces para uso científico en cualquier época, podrían obtenerse solicitándolos a la Sección de Caza y Pesca del Ministerio de la Economía Nacional y los cazadores profesionales se proveerían de una licencia especial que se les expediría gratuitamente y sin la cual les estaría prohibido practicar su deporte.

Los permisos y la licencia para la cacería por deporte y como medio de recolección para trabajos científicos eran factores muy importantes para Lehmann Valencia, porque además de ser la herramienta indispensable en su trabajo de ornitólogo, era uno de sus deportes favoritos, gusto que compartía con sus familiares y amigos más cercanos.

Otra de las tareas importantes desarrolladas por Federico Carlos Lehmann Valencia, durante su gestión como presidente de la sección colombiana del Comité Internacional Para la Defensa de las Aves, fue la traducción, edición, impresión y posterior divulgación del Boletín "*Bird Lore*", escrito por Tomás Gilbert Pearson. Esta empresa, en español "*Las Aves Bajo el Ecuador*", fue la carta de presentación de la sección y de su director ante la comunidad conservacionista de Latinoamérica, Estados Unidos de Norteamérica y Europa. El ornitólogo se encargó de la amplia distribución de

los 1000 ejemplares de dicha publicación, en que se narra el viaje de Pearson por América del Sur, la creación de las secciones en los diferentes países y las actividades en pro de la defensa de la fauna silvestre, pero especialmente de las aves migratorias. Este también fue el comienzo de fructíferas amistades con zoólogos, especialmente ornitólogos, y editores de publicaciones sobre el tema que en adelante lo incluirían en los directorios internacionales de naturalistas.

Como uno de los objetivos de esta sección eran los estudios científicos que pudieran determinar las zonas y las épocas reproductivas adecuadas para proteger la fauna de los cazadores, Lehmann Valencia se vinculó con las entidades gubernamentales pertinentes.

Comisionado como asesor técnico de caza del Departamento de Ganadería, del Ministerio de la Economía Nacional, se trasladó al Valle del Cauca, en noviembre de 1944, para efectuar el reconocimiento y los estudios respectivos de las lagunas de la región, para establecer cuales podrían ser destinadas como zonas de reserva de caza. Para realizar este trabajo, Lehmann Valencia, logró la colaboración, de la Secretaría de Agricultura y Fomento del Departamento, relación que fructificaría y permitiría realizar su sueño 19 años después. Los estudios de las lagunas los realizó entre Jamundí y Tulúa, primero por tierra y luego con observaciones aéreas que le hicieron pensar en la constitución de "*un parque de recreo para turistas, donde estos pudieran admirar en todo su esplendor la belleza de la fauna acuática tropical*"³⁸ que abundaba por entonces en la Laguna Barriales, a 40 minutos al sur de Cali.

Este tipo de salidas de campo, combinadas con expediciones que llevó a cabo durante su permanencia en el Instituto de Ciencias Naturales lo enriquecieron con datos que utilizó para estudios sistemáticos de taxonomía y zoogeografía, que publicó en *Caldasia* y *Novedades Colombianas*³⁹, entre otras revistas de divulgación científica, del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional y del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca respectivamente.

No sólo se preocupó por publicar y contribuir con la edición de la revista del Museo de la Universidad del Cauca, sino que también desde su posición en el Instituto sirvió de puente entre aquella y la Universidad Nacional

38 Correspondencia con Heliodoro Bonilla Guzmán, director nacional de ganadería, 1944. Archivo Histórico del INCIVA, Colección Federico Carlos Lehmann Valencia, Folio 5.

39 En 1946, el taxidermista sueco Kjell von Saeidern fue nombrado director del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca, quien en 1954 inició la publicación de "*Novedades colombianas*" como órgano de divulgación del museo. Desde entonces hasta septiembre de 1961 se editaron con mucha irregularidad seis números que completaron el primer volumen. Tomado de *Novedades Colombianas*, Vol. 1 - Número 6, de septiembre 10. de 1961. P. 339.



Foto 4. Federico Carlos Lehmann Valencia, 1940.
Alimentando un juvenil de águila arpía. (Archivo fotográfico del Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas -INCIVA)

para consolidar, fortalecer y convertir al Museo de Zoología, que había iniciado años atrás, en el de Historia Natural, del cual se encargaría todas las veces que se quedara sin dirección.

El almacén Sport Man

La segunda mitad de la década de los 40 trajo cambios para Federico Carlos Lehmann Valencia; se instaló en Cali con su segunda esposa Mireya García; y con su papá y hermanos como socios, organizó el *Almacén Sport Man*, una tienda que satisfacía la demanda de artículos importados para deportistas y cazadores. Cosas de las que Lehmann Valencia sabía bastante, porque como deportes practicaba el tenis y el *skeet*, modalidad de tiro al blanco, y además contaba con la clientela de los clubes deportivos de caza y pesca. Pertenecía al club "San Huberto", con el que participó en varios eventos nacionales e internacionales ocupando los mejores puestos en las competencias del ramo.

En 1948 su futuro como comerciante se frustró con los disturbios causados por aquel 9 de abril, el *Sport Man*, fue saqueado y destruido lo suficiente como para que sus dueños abandonaran el negocio.

La Universidad del Valle

En 1946 estuvo por primera vez en el Departamento de Ornitología del American Museum of Natural History en Nueva York, donde pudo conocer cómo funcionaban los museos de verdad, con sus investigadores asociados y las expediciones de recolección a cualquier lugar del mundo. Las colecciones de referencia y exhibición estaban impecablemente organizadas. En los dioramas y en los corredores por grupos de vida se hallaban los de exposición. En la biblioteca se contaba con la facilidad de consultar guías de campo y las publicaciones de los resultados de las investigaciones más recientes. A su regreso de Nueva York se vinculó con la Universidad del Valle como profesor asociado de las Sección de Zoología del Departamento de Medicina Preventiva de la misma Facultad. Su trabajo consistió en recolectar, clasificar y montar cualquier tipo de ave del occidente colombiano en el marco de una investigación, financiada por la Fundación Rockefeller y la Universidad de Harvard, para hacer observaciones y análisis de las vísceras que permitieran detectar a las portadoras de virus transmisibles al hombre por artrópodos.

Para adelantar estudios especializados sobre este tipo de enfermedades causadas por virus, la Rockefeller y la Fundación Gughenheim, le proporcionaron un viaje a California, donde permaneció durante algún tiempo en varias instituciones como el Rockefeller Central Laboratory, la Escuela de Salud Pública y la Escuela de Biología de la Universidad de California en Berkeley, la Escuela de Medicina y el Museo de Zoología de Vertebrados de la misma Universidad y en el Kern Country General Hospital, en Bakersfield.

Alrededor de 1955, cuando llegó del viaje, contaba con una colección de más o menos 1100 ejemplares⁴⁰ para estudios taxonómicos, ecológicos y biológicos. Un número tan significativo le permitió el inicio de una serie de estudios ornitológicos, pues contaba con la cantidad de datos suficientes sobre las localidades, las fechas y las condiciones de recolección, que publicó después como contribuciones al estudio de la fauna de Colombia. También todo este trabajo le sugirió, la organización de un museo de historia natural en la Universidad del Valle. Para este proyecto sería necesario ampliar las colecciones de estudio para el trabajo de diversos especialistas nacionales y extranjeros, y organizar grupos de exhibición para la educación del público. Sería, además, un centro de in-

40 LEHMANN - Valencia, Federico Carlos. Contribuciones al Estudio de la Fauna de Colombia, XII. *Novedades Colombianas* 3: 1010-136, dic., 1957.

vestigaciones vinculado con otros del país y del exterior que contaría con su propio órgano de divulgación de los trabajos sobre fauna, flora y mineralogía colombianas.

A pesar de que esta propuesta fue ampliamente sustentada por Lehmann Valencia ante las directivas de la Universidad, no logró nada. En febrero de 1961 le escribía, desde el museo de Popayán, a su amigo Richard E. Schultes⁴¹ que dejaba la Facultad de Medicina en Cali porque todos los médicos tenían los cargos directivos y aunque su trabajo era importante, él solamente era un profesor auxiliar y en adelante el tiempo que le dedicaba a la Universidad lo cedería a la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Valle.

El Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca

Como ya lo hemos mencionado varias veces, Lehmann Valencia se ocupó en diferentes periodos: 1943 a 1945 y 1959 a 1962, del rumbo del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca y de su revista *Novedades Colombianas*.

Mientras trabajó en la Facultad de Medicina y en la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Valle del Cauca, repartió su tiempo laboral. Quince días en Popayán y el resto del mes en Cali. Para su empresa del Museo de la Universidad del Cauca gestionó ante el gobierno departamental caucano los auxilios necesarios para mejorar la dependencia que necesitaba un nuevo edificio con instalaciones adecuadas, oficinas para su director y los otros colaboradores y para alojar a investigadores visitantes. Un vehículo para las expediciones co gestionadas con entidades y universidades extranjeras interesadas en apoyar la investigación biológica para la conservación, el establecimiento de parques nacionales y una escuela de biología, propósitos todos los de un museo de historia natural⁴². Para este efecto en 1961, volvió a contar con la ayuda de Antonio José Lemos Guzmán, quien era entonces, Gobernador del Departamento.

En sus planes para la reinstalación de la institución estaba también el establecimiento de nuevas secciones con sus respectivos especialistas de cabecera. Nombraría un conservador de las colecciones, que hiciera lo mismo que

él cuando llegó a Bogotá al Instituto Botánico, para que se encargara de mantener y nutrir las incipientes muestras de mastozoología, ornitología⁴³, herpetología, ictiología y entomología; así mismo, requería los servicios de una secretaria mecanógrafa; era preciso acudir al Dr. Enrique Hubach para que se encargara del Departamento de Geología y Paleontología; éste iniciaría con las muestras de minerales que tenía la Facultad de Ingeniería Civil.

Para ictiología, el Museo debía contar con el apoyo de Fabricio Lehmann González, su hermano, experto en el ramo y funcionario del Ministerio de Agricultura; para el área de Botánica se podía traer del Instituto de Ciencias Naturales a Jesús Medardo Idrobo, quien al igual que los anteriores, también era caucano. Para la colección herpetológica, se debía vincular oficialmente a Gerardo Ramírez, quien voluntariamente se había dado a la tarea de clasificar los ejemplares. Para esta sección se contaría con la colaboración técnica de Federico Medem, investigador asociado ad-honorem, y del Dr. Goín de la Universidad de Florida quien también se había ofrecido para el proceso de clasificación⁴⁴. Lehmann Valencia proponía que las colecciones de Etnología y Arqueología, y la Biblioteca que hasta el momento albergaba la Casa Mosquera, debían estar bajo el techo del Museo que se asesoraría económica y técnicamente del Instituto Nacional de Antropología.

Todos estos preparativos para la renovación del Museo eran la antesala de la celebración, en septiembre, de los 25 años de su fundación. Aniversario que también se festejaría con la publicación de un trabajo con transparencias a color sobre el grupo del *Pudu mephistophiles wetmorei*, o venado conejo, de las colecciones de la Institución. Otra de las intenciones del entusiasta director era la de proyectar las labores prácticas del Museo hacia las tareas de conservación y fomento de los recursos naturales; para lo que aprovecharía la coyuntura de haber sido nombrado asesor técnico de recursos naturales para el Departamento del Cauca, por el Gobernador Antonio José Lemos Guzmán y Vicente Lehmann Mosquera, su primo hermano, entonces Secretario de Agricultura y Ganadería⁴⁵. En diciembre de ese año, 1961, Lehmann Valencia escribía a su colega y amigo Jürgen Haffer:

41 Correspondencia con Richard E. Schultes, 1961. Archivo Histórico del INCIVA. Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folio 100.

42 Correspondencia con Miguel Ángel Zañiga, rector de la Universidad del Cauca, 1961. Archivo Histórico del INCIVA. Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 22 - 25.

43 Seguramente la que estaba en mejores condiciones, por ser la especialidad de su anterior director, Kjell von Sneidern, con quien Lehmann alternó la dirección del museo. Sneidern inició labores en 1946 y dejó su cargo en 1958 para instalarse en Guayaquil.

44 Memorando al rector de la Universidad del Cauca. Correspondencia con Miguel Ángel Zañiga, Op. Cit.

45 Correspondencia con Vicente Lehmann Mosquera, 1961. Archivo Histórico del INCIVA. Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 9 - 11.

“...ha habido dificultades con las Directivas de la Universidad que no entienden esto del trabajo científico de un Museo y han querido suprimirlo y he tenido que estar peleando duro para defenderlo de la ignorancia, y aún no se ha solucionado el problema, pues de ser posible continuar los trabajos en el Museo, ahora resulta que no tenemos local donde meterlo, porque este en que estamos, debe entregarlo la Universidad a la Nación para una escuela de Bachillerato, y no veo a dónde trasladar el Museo, que se pueda instalarlo siquiera medianamente organizado y ni que pensar en la posibilidad de construir “life-groups” ni cosa parecida. Te informaré cómo marchan las cosas, pues no hay dinero sino para politiquería en este país, pero para nada que sea investigación y constructivo”⁴⁶.

Y, al parecer, lo que él llamó politiquería le ganó la pelea porque terminó de director encargado y finalmente ad-honorem.

El cuatro de abril de 1961, la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Valle del Cauca inició una campaña de conservación de los recursos naturales y para este efecto nombró a Federico Carlos Lehmann como su jefe. Ser el biólogo de la secretaría le permitió, a Lehmann, articular sus proyectos de investigación con los de conservación y divulgación.

Dichas actividades resultaban para él mucho más motivadoras que la dirección del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca, y así lo manifestaba por carta a su amigo y colega Georges Dennler de la Tour:

“Son urgentes los oficios que como Asesor Técnico de la Caza para del Ministerio de Agricultura, Coordinador de Vida Silvestre y Recursos Naturales de la Secretaría de Agricultura del Departamento del Valle en Cali, Asesor de Recursos Naturales de la Secretaría de Agricultura del Departamento del Cauca, en Popayán y otras entidades, para ocuparse del grave problema que representa educar a los gobernantes en la prioridad que tiene para el país el establecimiento de zonas de reserva y reglamentos que aseguren

la supervivencia de nuestra cada día más agotadas Flora y Fauna”.⁴⁷

Definitivamente establecido en Cali, en 1964, se lamentaba ante Kjell von Sneidern⁴⁸ de la decisión del Concejo Directivo de la Universidad del Cauca al prescindir de la figura del director del Museo de Historia Natural, solamente por ahorrarse el sueldo. Y se quejaba del abandono al que estaba sometido el Museo, ya no abrían al público los sábados y domingos, cuando la gente podía ir, y el dinero que se producía en Semana Santa por las visitas no era invertido en mejorarlo y mantenerlo sino que se destinaba para las excursiones de los estudiantes.

El asesor de Recursos Naturales

Como asesor técnico, ad-honorem, de la caza para el Ministerio de Agricultura en 1956, coordinador de vida silvestre y de recursos naturales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Valle en 1958, y como asesor de recursos naturales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Cauca en 1961, Federico Carlos Lehmann Valencia logró trabajar en pro de la conservación a través de los reglamentos que permitieran establecer las reservas y las condiciones de caza. El vínculo con estas instituciones también le abrió las puertas para ser varias veces delegado del gobierno nacional ante importantes y definitivos congresos que marcarían sus derroteros al adquirir compromisos internacionales.

Su gestión en la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Valle del Cauca se materializó a través de los Decretos 162, por el cual se estableció el Parque Nacional de Los Farallones de Cali, y 174 de 1962; con éste último se declaró a la Laguna de Sonso, en Buga - Valle del Cauca, como refugio inviolable para aves nativas y migratorias. Proteger estas dos áreas del Departamento del Valle resultaba para Lehmann Valencia acciones prioritarias, como medidas preventivas de futuros y graves problemas sociales y económicos causados por el uso inadecuado de las fuentes hídricas, la fauna y la flora asociadas⁴⁹.

Como jefe de la campaña de conservación de los recursos naturales de la Secretaría de Agricultura y Ganade-

46 Correspondencia con Jürgen Haffer, 1961. Archivo Histórico del INCIVA: Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folio 49.

47 Correspondencia con Georges Dennler de la Tour, 1961. Archivo Histórico del INCIVA: Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 1-2.

48 Correspondencia con Kjell von Sneidern, 1964. Archivo Histórico del INCIVA: Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 63-72.

49 LEHMANN, Valencia, Federico Carlos. *Esperanzas para el futuro de la conservación en la América Latina, 1967*. Archivo Histórico del INCIVA: Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 41 - 47.

ría del Valle del Cauca, filmó varios documentales de divulgación y educación sobre la protección de los suelos, el proceso de la deforestación y sus consecuencias; la contaminación del agua, su agotamiento y la destrucción de los peces⁵⁰.

Durante 1962 y 1963 participó de eventos organizados por la comunidad conservacionista internacional, encabezados por instituciones como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF, por sus siglas en inglés) que lideraron los programas de cooperación mundial y definieron los lineamientos y las políticas para la salvaguardia del medio ambiente natural.

Asistir a la Primera Conferencia Mundial sobre Parques Nacionales, en Seattle, Washington, le permitió consolidar y liderar el Comité Latinoamericano de Parques Nacionales, que le sirvió de aval ante las autoridades colombianas para ratificar la necesidad de áreas protegidas en el país. También consiguió el apoyo internacional que se hizo efectivo mediante la visita de asesores internacionales, como por ejemplo William Hart del Comité Internacional de Parques Nacionales, y Max Nicholson del Programa Biológico Internacional, para evaluar el estado de conservación de los recursos naturales y sacar adelante el programa de parques nacionales y de protección de la fauna, que ya había iniciado Lehmann con los proyectos de ley que designaban al Volcán Puracé, los Farallones de Cali y la Laguna de Sonso como parques nacionales y refugios para la vida silvestre, además de la reglamentación nacional de la caza.

El Museo Departamental de Historia Natural

El decreto No 162 de 1962 estableció el Parque Nacional Farallones de Cali y con éste se dispuso que *"toda colección de plantas o animales que se hiciera en el área de éste, deberían quedar duplicados en el Museo de Historia Natural que al efecto se establezca en Cali"*; éste fue el primer paso para consolidar el Proyecto *"Un Museo de Historia Natural para Cali"*. Lehmann Valencia estaba convencido de que un Museo de Historia Natural era el nicho que le permitiría hacer realidad su labor como científico y conservacionista; él ya lo había expuesto años atrás ante los directivos de las Universidades del Cauca y del Valle, pero sólo ahora como producto de sus gestiones ante la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Valle lo lograría.



Foto 3. Federico Carlos Lehmann Valencia, 1940. Pintando un águila arpía (Archivo fotográfico del Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas - INCIVA)

La experiencia y los viajes le habían permitido a Lehmann Valencia madurar la idea que tenía de museo y para él aún no había sido construido. Su museo debería presentar a los ojos del observador la historia entera del universo, la tierra y sus habitantes y el conjunto de las relaciones entre uno y otro. Era consciente de las limitaciones que lo rodeaban, pero de todas maneras insistió en la medida que pudo para lograr su meta. Las colecciones debían iniciarse con una muestra de geología y de paleontología que permitiera conocer los orígenes de la vida a través de los fósiles atrapados en las piedras, para luego avanzar hacia las formas que coexisten con la humanidad.

El hombre y su desarrollo cultural también estarían presentes por considerarlos claves en el equilibrio de las relaciones entre los seres vivos y su ambiente. Las investigaciones científicas de la institución deberían estar encaminadas a conocer los problemas de conservación de los recursos naturales para generar posibles soluciones y para contribuir a la educación de todas las personas. Con este argumento, acompañado de materiales audiovisuales, presentó una conferencia en el Museo de Arte Moderno La Tertulia a la que asistieron, entre otros importantes dirigentes, el entonces gobernador del departamento, Gustavo Balcázar Monzón y la secretaria de Educación Maritza Uribe de Urdinola, quienes conjuntamente con la Secretaría de Agricultura del Valle aterrizaron la idea con la expedición del Decreto 510 de agosto 15 de 1963, por el cual se creó el Museo Departamental de Historia Natural de Cali.

50 Correspondencia con Libardo Madrid, 1964. Archivo Histórico del INCIVA: Colección Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 88 - 95.

La filosofía de su director se manifestó durante los siguientes años. El Museo fue eje de investigaciones sistemáticas sobre la fauna y la flora de la región. Contribuyó al establecimiento de políticas de conservación a través del establecimiento de otras áreas protegidas en el territorio nacional y de regulación de la explotación y comercialización de los recursos. El Museo y su director fueron nodos articuladores de una amplia red de biólogos nacionales e internacionales que produjeron y divulgaron el conocimiento científico entre un amplio público, tanto especializado como lego.

El Museo Departamental de Historia Natural de Cali fue la concreción de una vieja idea de Federico Carlos Lehmann. Hay que recordar que en la segunda mitad de los años cincuenta había intentado la instalación de un museo de esta naturaleza en la Universidad del Valle, y que comenzando la década de los sesenta había elaborado un plan de proyección y ampliación para el Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca. Ambos intentos fallidos.

El Museo de Cali abrió sus puertas como un centro de investigaciones científicas e instrucción. Desde donde su director siguió desarrollando actividades para conservar los recursos naturales y para educar a los funcionarios de los diferentes estamentos y especialmente a los profesores de escuelas públicas, colegios privados y universidades.

Para consolidar la institución departamental, Federico Carlos Lehmann tuvo en cuenta varias colecciones que ya existían. En 1942, Cecil Miles, ictiólogo inglés, había sido contratado por Ciro Molina Garcés, secretario de Agricultura y Fomento del Valle del Cauca, para que realizara un estudio científico sobre los peces de agua dulce de la región. Para esta actividad se recolectaron alrededor de 3.330 ejemplares que se depositaron en la Facultad de Agronomía del Departamento en Palmira, antes de que la Facultad fuera parte de la actual Universidad Nacional.

En 1952, el Gobernador del Valle, Diego Garcés Giraldo, compró para el Departamento parte de la colección arqueológica del padre Emilio Camacho. Esta fue depositada, una parte, en la Biblioteca Departamental y otra en la Escuela de Bellas Artes del Valle.

Con esas dos colecciones, propiedad del Departamento, y con algunas aves y esqueletos prestados de la colección de referencia que tenía la Facultad de Medicina de la

Universidad del Valle, y que además habían sido recolectadas por Lehmann durante su participación en la investigación sobre virus en 1955, se inició el Museo. También se exhibieron durante la inauguración, en diciembre 16 de 1963, una muestra de insectos, propiedad de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional, que el profesor Adalberto Figueroa prestó; una pequeña colección de mamíferos del Colegio la Sagrada Familia de Cali, y algunos ejemplares de la colección privada de Lehmann Valencia.

Paulatinamente, el Museo fue adquiriendo sus propias colecciones a través de expediciones que con este fin su director organizó; o que por encargo compraba a varios taxidermistas, entre ellos Ricardo Iragorri y Luis E. Orozco, de Popayán⁵¹.

Las películas y documentales que sobre fauna, flora y aspectos ecológicos había filmado Lehmann Valencia, durante su permanencia en la Secretaría de Agricultura del Valle, fueron herramientas indispensables en la labor educativa del Museo. Además de charlas sobre recursos naturales, cursos sobre taxidermia y geología, entre otros temas; se organizó un club de cine llamado "Cine-8", del que podía ser miembro cualquier cinéfilo; porque no sólo películas sobre la naturaleza se presentaban semanalmente, sino que también, con la colaboración por ejemplo del consulado alemán, se entregaban periódicamente documentales sobre lugares y costumbres del mundo.

El Museo participaba activamente de la vida cultural de la región y para ello convocaba desde grupos de amigos de la naturaleza hasta el gremio de los taxistas. En 1971 Federico Carlos Lehmann dictó conferencias y socializó entre los taxistas de Cali sus conocimientos sobre la naturaleza, especialmente sobre las aves, para que estos pudieran prestar un mejor servicio a los turistas que llegarían a propósito de los Juegos Panamericanos.

El Museo fue el escenario de convenios internacionales que aportaron a los estudios conservacionistas del país, por ejemplo con el Smithsonian Tropical Research Institute de Panamá y el Museo de Historia Natural de Nueva York, y que permitieron el intercambio de investigadores y científicos de las diferentes especializaciones de la biología. Para un investigador extranjero llegar al Museo le significaba contar con un cuarto disponible para vivienda, instalaciones para realizar el trabajo de laboratorio

51 LEHMANN, Valencia, Federico Carlos. *Informe del director del Museo Departamental de Historia Natural, sobre el primer año de labores, 1964*. Archivo Histórico del INCIVA: Fondo Museo de Ciencias Naturales Federico Carlos Lehmann Valencia. Folios 1-3.

básico, una colección de referencia confiable y un equipo humano, encabezado por Federico Carlos Lehmann, preparado para guiarlo por la aventura de salir al campo a buscar alguna especie exótica poco conocida o mejor aún sin descubrir.

En 1974, murió Federico Carlos Lehmann Valencia, gestor e impulsor del Museo Departamental de Historia Natural. Su fallecimiento produjo dificultades en el manejo del museo, dejando prácticamente a la deriva una empresa que necesitaba de la tenacidad de un hombre como Lehmann. En el tintero quedaron varias investigaciones y la conclusión de una Guía de Aves de Colombia para la cual había trabajado toda su vida.

El 16 de agosto de 1974 con el Decreto No. 1128, el gobernador del Departamento rindió homenaje póstumo a nuestro personaje, titulado en su memoria al Museo Departamental de Historia Natural como "**Museo de Ciencias Naturales Federico Carlos Lehmann Valencia**".

Bibliografía

Fuentes Primarias

Entrevistas

En paréntesis se indica la ciudad, el mes y el año de la entrevista.

- Arango Bueno, Teresa.** Fue durante 26 años la asistente y amiga del padre Enrique Pérez Arbeláez, además de ser su biógrafa. (Bogotá, Marzo de 1999)
- Barney Materón, Guillermo.** Fue secretario de Agricultura y Ganadería del Valle del Cauca en 1958. (Cali, abril de 1998).
- Borrero, José Ignacio.** Nació en Bogotá en 1921. Es un pionero de la ornitología colombiana y fundador del Departamento de Biología de la Universidad del Valle. (Cali, marzo de 1999).
- Lehmann Dueñas, Álvaro.** Nació en Popayán en 1930. Es médico, primo hermano de Federico Carlos Lehmann Valencia, y participó de las investigaciones sobre animales portadores de virus transmisibles al hombre por insectos, en un proyecto entre la Facultad de Medicina de la Universidad del Valle y la Fundación Rockefeller. (Cali, mayo de 1998).
- Lehmann González, Fabricio.** Nació en Popayán en 1936, hermano de Federico Carlos Lehmann Valencia. (Popayán, febrero de 1999).

- Lehmann González, Roberto.** Nació en Popayán en 1931; hermano de Federico Carlos Lehmann Valencia. (Popayán, febrero de 1999).
- Lehmann Mosquera, Holga.** Nació en Cali en 1927; prima hermana de Federico Carlos Lehmann Valencia. (Popayán, febrero de 1999).
- Marulanda, Ludy.** Fue la taxidermista del Museo Departamental de Historia Natural entre 1964 y 1988. (Cali, febrero de 1999).
- Medina, María Elba.** Fue funcionaria del Museo Departamental de Historia Natural entre 1972 y 1992, se desempeñó en varios cargos, entre ellos como auxiliar de taxidermia. (Cali, marzo de 1998).
- Paz, Libio.** Fue amigo de Federico Carlos Lehmann Valencia. (Cali, mayo de 1998).
- Perea, Omar Hernán.** Fue el primer síndico administrador del Museo Departamental de Historia Natural. (Cali, febrero de 1999).
- Silva Perdomo, Ana Judith.** Fue la secretaria privada de Federico Carlos Lehmann Valencia. (Cali, marzo y junio de 1998).
- Sneidern von, Kjell.** Taxidermista y ornitólogo sueco, director, en varias oportunidades, del Museo de Historia Natural de la Universidad del Cauca. Fundador de la Revista *Novedades Colombianas*. Murió en Cali en 1999. (Cali, marzo de 1999).

Archivos y Fuentes Originales

- ARCHIVO GENERAL DE LA NACIÓN. Fondo Enrique Pérez Arbeláez.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA.
- INSTITUTO VALLECAUCANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS. Colección Federico Carlos Lehmann Valencia (1931-1974).
- INSTITUTO VALLECAUCANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS. Fondo Museo de Ciencias Naturales Federico Carlos Lehmann Valencia (1963-1974).

Otras Fuentes Consultadas

- Aragón, Arcelio.** 1997. Historia de la Universidad, Monografía Histórica de la Universidad del Cauca.
- Arboleda, José María.** 1951. Biografía del padre Gómez. Popayán.
- Arboleda, Gustavo.** 1962. Diccionario Biográfico y genealógico del antiguo Departamento del Cauca, 2a. edición, Bogotá.
- Arango Bueno, Teresa.** Enrique Pérez Arbeláez. 1992. Su vida y su obra. Fondo FEN de Colombia, Bogotá.
- Lofstrom, William.** 1996. La vida íntima de Tomás Cipriano de Mosquera. Banco de la República - El Áncora Editores.

EL NATURALISTA ANTOINE ROUHAIRE (HERMANO NICÉFORO MARÍA) Y EL DESARROLLO DE LA ZOOLOGÍA SISTEMÁTICA EN COLOMBIA

por

Gilberto Rodríguez*

Resumen

Rodríguez, G.: El naturalista Antoine Rouhaire (Hermano Nicéforo María) y el desarrollo de la zoología sistemática en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26**(99): 229-238. ISSN 0370-3908.

Se explican los antecedentes del Museo de Historia Natural del Instituto de la Salle y se presenta una síntesis biográfica del Hno. Nicéforo F.S.C. así como una relación de su producción científica.

Palabras clave: Biografía, Museo de Historia Natural, Hno. Nicéforo María F.S.C.

Abstract

The antecedents of the Museo Historia Natural of the Instituto de la Salle are explained and a biographic synthesis of Brother Niceforo F. S. C. is presented as well as a synopsis of his scientific production.

Key words: Biography, Museum of Natural Sciences, Bro. Nicéforo María F.S.C.

Introducción

El proceso de describir y registrar la biota de la vasta región neotropical, después de los primeros asentamientos europeos en América, siguió un curso muy lento y no extraño al desarrollo histórico de cada época. En general, el imperio español, envuelto principalmente en la explotación mineral de sus colonias, no promovió el estudio de la historia natural. Otras potencias europeas, con economías fuertemente dependientes del comercio internacio-

nal de recursos vivos, se mostraron más interesadas en las "producciones naturales" potenciales de sus territorios ultramarinos (Rodríguez, 1993).

A fines del período colonial, gracias a la importación de cerebros extranjeros, la botánica y la química concentran el esfuerzo modernizador de las ciencias naturales en España. El botánico Pedro Loefling, discípulo de Linneo, actualiza en Madrid a los estudiosos (1751-1754) y más tarde es enviado como naturalista de la expedición de li-

* Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas 1020A, Venezuela.



Hermano Nicéforo María F.S.C. Retrato tomado en Bogotá por Doris Cochran en el Instituto de la Salle.

mites al Orinoco. Carlos III, monarca de la Ilustración (1759-1788), crea el Jardín Botánico de Madrid. Se envían cuatro expediciones botánicas a las posesiones americanas: A los Reinos del Perú y Chile, de Hipólito Ruiz y José Antonio Pavón (1777-1788); al Nuevo Reino de Granada, de José Celestino Mutis (1783-1816); a la Nueva España, de Martín Sessé y José Moziño (1787-1803) y la expedición alrededor del Mundo, de Alejandro Malaspina (1789-1794). No siempre fue fácil la venia de la corte a estas empresas científicas, como lo prueban los veinte años transcurridos desde la célebre carta de Mutis de 1764, solicitando la anuencia de la corte, hasta que el arzobispo virrey Antonio Caballero y Góngora obtiene la sanción real en 1783 (Gredilla, 1911). Sin embargo, en este fin de siglo, el tiempo se ha agotado. Los últimos colaboradores de Mutis, Francisco Antonio Zea, Salvador Rizo, Jorge Tadeo Lozano, Francisco José de Caldas, serán los primeros envueltos en movimientos independentistas.

La falta de interés de España se transmitió a las repúblicas creadas después de la independencia y correspondió principalmente a los franceses en el siglo XIX la exploración de la biota neotropical con misiones de gran formato como las conducidas por de Castelnau (1827-1833), D'Orbigny (1843-1847) y Boucour (1864-1867), o con los esfuerzos más modestos de los "voyageurs-naturalistes" para quienes se creó una escuela en el Museo de Historia

Natural de París (1819). Entre estos últimos visitaron Colombia Justin Goudot (1822-1843), Lebas (c. 1835-1840) y Pierre Bouchard (c. 1860) (Moret, 1995). Posteriormente, ya en el siglo XX, el centro de interés en el Neotrópico gravitará hacia los museos norteamericanos. Para estos años Colombia se encontraba débilmente estructurada para el estudio de la zoología sistemática. Una organización religiosa dedicada a la enseñanza, los Hermanos de las Escuelas Cristianas, llenará principalmente ese vacío y se transformará en corresponsal de las instituciones norteamericanas. De una de sus figuras más representativas, el Hermano Apolinar María, existe abundante documentación en la literatura (Salazar, 1999). Otra figura menos conocida, pero igualmente importante, el Hermano Nicéforo María, es el objeto de la presente contribución.

Ad deum per naturam

Lavoûte Chilhac, donde nació Antoine Rouhaire Siazade el 28 de febrero de 1888, es una aldea francesa en el departamento de Alto Loira, que a finales del siglo XIX contaba con un poco más de un centenar de habitantes. Escondida en las faldas de las montañas de La Margeride, al borde del río Allier, sólo le daban relevancia las minas de antimonio, y estas distaban más de cinco kilómetros de la población. Para poder efectuar sus estudios Antoine tiene que trasladarse a Le Puy, capital del departamento, una pequeña ciudad de viejas iglesias medievales y edificios góticos, apiñados alrededor de una roca volcánica coronada por una estatua de la Virgen María. Allí el joven Rouhaire encuentra su vocación religiosa y en 1905 es admitido a la congregación de los Hermanos de las Escuelas Cristianas, con el nombre de Hermano Nicéforo María. La anonimidad que debiera borrar los esplendores de este mundo, concederá posteriormente al naturalista un modesto título de orgullo. En carta al presente autor, medio siglo más tarde, dirá: *Si acaso se refiere a mi persona en alguna de sus publicaciones, tenga la amabilidad de escribir mi nombre completo, Hermano Nicéforo María. Así soy conocido en la literatura científica y, además, hay otro Hermano Nicéforo ...* (in litt., septiembre 27, 1968). En 1905 parte a hacer sus estudios más formales en Bélgica y el Gran Ducado de Luxemburgo, hasta 1908, cuando apenas con veinte años está listo para incorporarse a la labor pedagógica de los hermanos de La Salle en la lejana Colombia.

Medellín, la segunda ciudad de Colombia, cuenta en 1908 con aproximadamente 50.000 habitantes. El cultivo del café, junto con el oro de las minas cercanas que se exporta a Inglaterra, donde residen también los principales accionistas, constituyen la base de la actividad eco-

nómica. Los primeros telares, de lo que habría de ser la principal industria de la ciudad, habían llegado poco antes, en 1902. Durante 14 años el Hermano Nicéforo María se concentrará en su labor docente en el Colegio San José como profesor de ciencias naturales, inglés y francés, pero aún así consigue tiempo para organizar en 1911 el museo del colegio, como lo requería la Ordenanza N° 25 del Departamento de Antioquia, de ese mismo año, sobre la obligación de organizar museos escolares (López López, 1989). En agosto de 1910 los naturalistas suizos Otto Fuhrman y Eugenio Mayor, visitaron la ciudad y sólo encontraron como actividad cultural digna de mención la colección de objetos precolombinos que mantenía Leocadio Mario Arango (Fuhrmann y Mayor, 1914).

En 1922 el Hermano Nicéforo María es incorporado a la plantilla docente del colegio de la orden religiosa en Bogotá y se le asigna como actividad accesoria la subdirección del museo de la institución. El Museo de Historia Natural del Instituto de La Salle, fundado en 1904 por el Hermano Apolinar María (Nicolás Séiller, 1867-1949), albergaba para los años veinte importantes colecciones, particularmente en entomología. Era igualmente la sede de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales la cual publicaba desde 1912 un Boletín. Para incrementar las colecciones del museo, Nicéforo María intensifica sus excursiones científicas en los departamentos centrales de Colombia. Entre 1923 y 1930 visita seis veces Villavieja (Meta), pero igualmente recibe colecciones zoológicas de diversos colaboradores, como las obtenidas entre 1924 y 1927 por los religiosos lasallistas del colegio de Honda (Tolima).

Una de sus primeras publicaciones (Nicéforo María, 1923a) es una nota sobre un ejemplar de roedor gigante del género *Dinomys*, encontrado en Medellín, el cual estima es una especie nueva, diferente de las conocidas de Colombia. Como prudente taxónomo, añade "sin embargo, no tengo a la vista la descripción de la subespecie ecuatoriana... me contentaré hoy con dar la descripción del animal". La especie es sin duda *Dinomys branickii*, la única registrada hasta el presente en Colombia (Alberico et al., 2000), muy escasa en Los Andes, desde Venezuela hasta Bolivia, la Amazonia del Perú y el Oeste del Brasil, y representa un relictos de lo que era una familia muy diversificada en el Neotrópico. En 1994 la especie fue declarada en peligro de extinción por la Unión Mundial para la Naturaleza (Rodríguez y Rojas-Suárez, 1998). Dos publicaciones sucesivas se refieren a aves paludícolas (Charadriiformes) depositadas en las colecciones del Museo (Nicéforo María 1923b) y otras especies observadas en una excursión reciente (Nicéforo María 1923c). Otras

publicaciones de esta década se refieren a ofidios y batracios.

Desde los comienzos de su actividad en el Museo de La Salle continúa la política establecida por Apolinar María de enviar ejemplares a museos extranjeros para obtener una determinación precisa de las especies colombianas. Esta colaboración es exitosa, excepto por un fracaso ocasional: *Varios años antes del incendio de nuestro museo [1948], una Miss... de EE.UU., al ver mi colección de crustáceos me pidió que le "prestara" varios ejemplares del cangrejo enano de Buenaventura. Nunca volví a saber nada de Miss... que llegaba de Venezuela, ni de los cangrejos prestados* (in litt., septiembre 27, 1968).

Como resultado del intercambio internacional comienza a publicar a partir de 1924 traducciones anotadas de las descripciones que van haciendo varios zoólogos sobre los vertebrados depositados en el Museo de La Salle. La primera se refiere a diversas especies nuevas de conejos, ratas de monte, ratas de agua y murciélagos descritas por Oldfield Thomas, del Museo Británico (Nicéforo María, 1924a, b). Esta práctica cumple la útil misión de divulgar en Colombia el conocimiento de la fauna recogido en publicaciones poco accesibles en el país en aquella época, al tiempo que completa con valiosos datos las breves descripciones originales. Como ejemplo, a la descripción original que Amara hace de *Atractus loveridgei*, basada solamente en el holotipo, Nicéforo María (1931c) añade observaciones sobre la disposición de escamas en una serie de 11 ejemplares y notas sobre el contenido estomacal de 2 ejemplares.

La red de institutos de enseñanza de su congregación religiosa se extiende por diversas ciudades colombianas. Nicéforo María, en cumplimiento de su actividad docente, trabaja en 1933 en San Gil (Santander) y en 1935 en Cúcuta (Norte de Santander), donde organiza sendos museos de historia natural y extiende sus actividades de exploración a nuevos espacios de la geografía colombiana. Quizá como consecuencia de estas actividades sus publicaciones muestran un hiato desde 1933 hasta 1938, pero en esta última fecha se retoman en forma continuada hasta sus últimos años. Ya no volverá a publicar traducciones y notas sobre nuevas especies de otros zoólogos: su trabajo adquiere un carácter más personal, cubriendo varios grupos de vertebrados: reptiles, batracios, ocasionalmente quirópteros, y una serie de "Notas sobre Aves de Colombia" de 1945 a 1955.

El Museo de la Salle

En 1937 la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales hace gestiones para que, en vista de la

carencia de un museo nacional, el gobierno adquiriera el Museo de La Salle como *el núcleo alrededor del cual se agrupen los elementos dispersos en el antiguo Museo Nacional, la Facultad de Medicina y en otros lugares* (Anónimo, 1937). La iniciativa no se concreta, pero deja un interesante arqueo de las colecciones (Tabla 1). **Cuervo Márquez** (1937), quien hace esta contabilidad, dice: *La única iniciativa particular que ha dado resultado para la fundación de un Museo de Historia Natural en Bogotá es la del Hermano Apolinar María*. En vista de las gestiones de compra, puede considerarse que era la única iniciativa, particular u oficial, que había dado resultados. **Salazar** (1999) hace una contabilidad ligeramente diferente para 1930: 37.706 insectos y 17.235 lepidópteros, para un total de 73.000 ejemplares de los tres reinos de la naturaleza.

Tabla 1. Número de ejemplares de diversos grupos zoológicos en el Museo de Historia Natural del Instituto de La Salle, Bogotá, en 1937 (Cuervo Márquez, 1937)

Insectos	24200
Coleópteros	260
Ortópteros	1200
Himenópteros	1900
Hemípteros	2400
Neurópteros	540
Lepidópteros	17000
Dípteros	900
Moluscos	2000
Vertebrados	16580
Peces	1200
Reptiles	1100
Batracios	380
Aves	4000
Mamíferos	900
Fósiles	9000
Objetos precolombinos	660
Minerales y rocas	9400
Objetos diversos	650

El 9 de abril de 1948, Colombia se estremece por el asesinato del dirigente político Jorge Eliécer Gaitán. Numerosos edificios son incendiados en Bogotá, entre ellos el que albergaba el Museo de La Salle. En una noche desaparecieron colecciones enteras, como fue el caso de 8000 ejemplares de aves (**Nicéforo María**, 1967), la colección de lepidópteros, objeto de numerosas publicaciones de Apolinar María, y el extenso acopio de arácnidos sobre el cual **Carlos de Mello-Leitão** (1941) había publicado el catálogo de arañas de Colombia, que incluía 6 géneros nuevos y 37 especies nuevas. La destrucción de la correspondencia con especialistas extranjeros significó la pérdida de valiosas fuentes primarias para la historia de las ciencias naturales en Colombia.

El recuerdo de esta pérdida le acompañará el resto de su vida. Treinta años más tarde escribe al presente autor, refiriéndose al holotipo perdido de un crustáceo de agua dulce: *Ya no tenemos la especie Valdivia niceforoi, que desapareció en el criminal incendio del 9 de abril de 1948... Nos hace mucha falta la literatura... Nuestra biblioteca científica quedó reducida a cenizas y actualmente carecemos de recursos* (in litt., marzo 22, 1977). Apolinar María sobrevivirá poco a esta pérdida, pues muere el 24 de diciembre de 1949. Nicéforo María, quien poco antes había llegado a los sesenta años, dirige la mirada al futuro e infatigablemente aborda la reconstrucción del Museo, con un gesto que recuerda el verso de Horacio, *El varón justo y tenaz en su propósito... si el mundo se derrumba él permanece incólume entre sus ruinas* (Carminum III,3).

Cinco años después del incendio señala: *Desde la fecha fatídica del 9 de abril de 1948, las nuevas colecciones de Historia Natural del Museo de La Salle han vuelto a tomar cuerpo y la de los quelonios se acerca a los 150 ejemplares* (**Nicéforo María**, 1953a). Una cuenta de diciembre de 1955 revela que ha traído 376 pieles de aves del norte de Santander: 172 de la región de Cúcuta o Pamplona y 204 de las haciendas Astillero y La Selva. Un viaje de 1957 a Leticia, en el Río Amazonas, produce los siguientes resultados: Mamíferos 26, aves 255, quelonios 9 (5 spp.), saurios 52, ofidios 72, batracios 110, peces 724, crustáceos 16, moluscos terrestres 55, arácnidos 55, coleópteros 50, 14 fósiles que comprenden 13 gasterópodos y una mandíbula de Crocodylidae (**Nicéforo María** 1958e). Veinte años más tarde el Museo de La Salle contiene de nuevo importantes colecciones. Joseph R. Bailey, North Carolina State Museum, escribe en 1967: *Es lo mejor de las colecciones colombianas que he visto y Ud. puede enorgullecerse de ello* (in litt. a Nicéforo María, junio 9, 1967, citada por **Nicéforo María**, 1967).

A mediados de 1969 sufre algunos quebrantos de salud: *Tuve la mala suerte de caer enfermo cuando estaba prácticamente listo para enviarle el material de crustáceos que le había prometido... Tenga la amabilidad de perdonar la carta tan mal presentada que escribí sobre las rodillas y también mi mutismo tan largo. Estuve un mes y medio en una clínica* (in litt., julio 15, 1969). Pero poco después ya está de nuevo dedicado a su trabajo de campo: *He recogido material nuevo y me agrada saber cuándo usted estará de vuelta en Caracas para remitirlo allí directamente* (in litt., agosto 14, 1970).

Para mediados del siglo XX las circunstancias de la investigación científica en Colombia, como en toda América Latina, habían comenzado a cambiar. El conocimiento tien-

de asociarse más a la idea de progreso socioeconómico que a la de "ilustración". Se reafirma la presencia del investigador profesional, formado y apoyado por el estado, desplazando al "amateur", que en la lengua original de Antoine Rouhair es "el que ama" y quien había logrado con devoción y amor hacer avanzar las ciencias naturales. El ornitólogo norteamericano Rodolphe Meyer de Schauensee (1964) escribe una obra fundamental, pero también hacen aportes importantes investigadores colombianos de las nuevas generaciones, como el sacerdote franciscano Antonio Olivares (1920-1976), quien de 1947 a 1952 había hecho estudios de postgrado en ornitología en la Universidad de Notre Dame (EE. UU.). Las estructuras de investigación colombianas, incluyendo los museos universitarios, se robustecen con la creación del Instituto de Ciencias Naturales a partir del Instituto Botánico y la aparición de las revistas *Caldasia*, *Mutisia* y *Lozania*. El Museo de La Salle ocupará su lugar dentro de una pluralidad de nuevas instituciones bien dotadas de talento para el estudio de la fauna colombiana.

También Nicéforo María actualizará sus publicaciones. En 1964 había comenzado su colaboración con Antonio Olivares, en entregas sucesivas de adiciones a la avifauna de Colombia. Olivares muere en 1976, pero Nicéforo María publicará todavía las entregas sexta y séptima, esta última en 1978. Ésta será su postrera tarea científica, pues fallece el 24 de febrero de 1980 en Fusagasugá (Cundinamarca), cuatro días antes de cumplir 92 años.

Los zoólogos norteamericanos

A mediados del siglo XIX comienza el desarrollo mayor de los museos de historia natural en los Estados Unidos: El Museo Nacional en Washington, con su primera unidad en 1850, el Museo de Zoología Comparada de Harvard, con su primer núcleo en las colecciones de Louis Agassiz en 1859, el Museo Peabody de la Universidad de Yale en 1860 y el Museo de la Academia de Ciencias de Philadelphia organizado a partir de las colecciones de Thomas Bellerby Wilson en estas mismas fechas. En Brasil comenzó a desarrollarse el Museo Nacional desde comienzos del siglo XIX; el Instituto Butantán, particularmente asociado con la ofidiología, comenzó sus trabajos en 1901.

Para comienzos del siglo XX, los especialistas norteamericanos habían procesado gran parte de la fauna de su país y tendían la mirada a otros espacios geográficos, notablemente a lo más cercano y promisoramente más diverso como era la fauna neotropical. Es larga la lista de los zoólogos norteamericanos que acometen personalmente la exploración de la fauna neotropical sobre el terreno. En

Colombia un catálogo de estos zoólogos comprendería en forma prominente: Leo Edward Miller, Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, 1911-1912, 1914-1915; Frank M. Chapman y J. A. Allen, Museo Americano de Historia Natural, 1911-1915; Carl H. Eigenmann, 1912; E. R. Williamson, U. Michigan, 1916-1917; Marston Bates, Universidad de Michigan, en Villavicencio 1940-1948; Emmet Reid Dunn, 1943-1944; Robert Cushman Murphy.

Otra modalidad usada por los taxónomos norteamericanos para extender sus investigaciones fue asociarse a museos o colectores locales. En el caso de Nicéforo María, como hemos visto, esta asociación data de la década de 1923 a 1933. En estos años Thomas Barbour (1884-1945) (Museo de Zoología Comparada, Universidad de Harvard) encuentra entre las ranas del Museo de La Salle las nuevas especies *Phyllomedusa niceforei* y *Cryptobatrachus incertus* y un nuevo Caeciliidae, *Gymnopsis niceforei*; entre las mismas ranas G. Kingsley Noble (Museo Americano de Historia Natural, Nueva York) describe la nueva especie *Phyllobates niceforei* y Arthur Loveridge el nuevo lagarto *Anadlia niceforei*. Afranio do Amaral (Instituto de Butantán, São Paulo) identifica las serpientes y describe dos especies nuevas del género *Atractus* y la culebra vermiforme *Helminthophis praeocularis*. En años sucesivos la colección del Museo de La Salle será una importante fuente de novedades zoológicas (Tabla 2). Todavía en 1980, el presente autor detectó cuatro especies y una subespecie nuevas de cangrejos de agua dulce en la colección de más de 100 lotes de ejemplares que examinó de este museo (Rodríguez, 1980).

Tabla 2. Nuevos taxa descritos por diversos autores a partir de materiales obtenidos por el Hermano Nicéforo María

	Géneros	Especies/ Subespecies
Mamíferos		13
Aves		8
Ofidios		26
Saurios		9
Anfibios	1	14
Peces agua dulce	1	24
Arácnidos	6	49
Cangrejos agua dulce		8
Moluscos terrestres		6
Plantas		3
Fósiles	1	7

Muchos de los nuevos taxones fueron dedicados al Hermano Nicéforo María, usando el sufijo específico *niceforei* o *marianum* y los nombres genéricos derivados

de Nicéforo. Entre las especies con estas características se cuentan tres plantas fanerógamas, tres arácnidos, dos crustáceos braquiuros, cinco peces dulceacuícolas, siete saurios, cinco ofidios, una salamandra, un cecilido, siete

batracios, cuatro aves y dos fósiles. Entre los géneros figuran el fósil *Niceforoceras* y el batracio *Niceforonia* (López López, 1989). La lista de la Tabla 3 se elaboró con los nombres de los autores de estos taxones, así como

Tabla 3. Especialistas que estudiaron las colecciones del Museo de La Salle

Thomas Barbour (1884-1945), Museo de Zoología Comparada, Reptiles, Batracios
Arden H. Brame, Field Museum of Natural History, Salamandras
William Henry Burt (n. 1903), Instituto de Tecnología, U. de California, Mamíferos
Doris Mable Cochran (1898-1968), Smithsonian Institution, Washington, Batracios
William Edward Duellman (n. 1930), U. de Kansas, Batracios
Emmett Reid Dunn (1894-1956), Academia de Ciencias de Philadelphia, Reptiles
Henry W. Fowler (n. 1878), Academia de Ciencias de Philadelphia, Peces
Helen Thompson Gaige U. de Michigan, Batracios
Coleman Jett Goin (n. 1911), U. Florida, Batracios
Philip Hershkovitz (1909-1997), Smithsonian Institution, Washington, Mamíferos
Gladwyn Kingsley Noble (1894-1940), Museo Americano de Historia Natural, Batracios
Arthur Loveridge (1891-1980), Museo de Zoología Comparada, Reptiles
George Sprague Myers (n. 1905), U. Stanford, Peces
Henry Augustus Pilsbry (n.1862), Academia de Ciencias de Philadelphia, Moluscos
Alexander Ruthven (1882-1971), Universidad de Michigan?, Reptiles
Colin Campbell Sanborn (1867-1962), Field Museum of Natural History, Mamíferos
Rodolphe Meyer de Schauensee (n. 1901), Academia de Ciencias de Philadelphia, Aves
Waldo Lasalle Schmidt (n. 1987), Smithsonian Institution, Washington, Crustáceos
Karl Patterson Schmidt (1890-1957), Field Museum of Natural History, Reptiles
Leonard Peter Schultz (1903-1986), Smithsonian Institution, Washington, Peces
William Trelease (1857-1945), U. Illinois, Plantas
David B. Wake, Field Museum of Natural History, Salamandras
Alexander Wetmore (1886-1978), Smithsonian Institution, Washington, Aves
John T. Zimmer, Audubon
Juan A Rivero (n. 1922), U. de Puerto Rico, Batracios
Michael Rogers Oldfield Thomas (1858-1929), Museo Británico, Mamíferos
E. Basse, Sociedad Geológica de Francia, Fósiles
Afranío do Amaral (1894-1982), Instituto Butantán, Reptiles
Alcides Prado, Instituto Butantán, Reptiles
Carlos de Mello Leitão (1886-1948), Museo Nacional, Río de Janeiro, Arácnidos
José Royo Gómez (1895-1961), Servicio Geológico Nacional, Bogotá, Fósiles
Armando Dugand (1906-1971), Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, Plantas
José Cuatrecasas (n. 1903), Instituto Botánico, Bogotá, Plantas

otros nombres obtenidos a través de diversas publicaciones taxonómicas de esa época, demasiado numerosas para ser citadas detalladamente.

La lista de autores americanos conforma un verdadero *Who's who* de la zoología en ese país en la primera mitad del siglo XX. Cinco de ellos pertenecen al Museo Nacional de Historia Natural de los Estados Unidos (Smithsonian Institution), cuatro a la Academia de Ciencias de Philadelphia, cuatro al Museo Field de Historia Natural de Chicago y dos al Museo de Zoología Comparada de la Universidad de Harvard. El Museo Americano de Historia Natural de Nueva York y varios museos universitarios están representados por un especialista cada uno. Aparecen solamente dos especialistas europeos: Thomas del Museo Británico y Basse de la Sociedad Geológica de Francia. De Brasil aparecen tres y de la propia Colombia tres: Dugand, para la fecha director del Instituto de Ciencias Naturales y dos especialistas españoles radicados en Colombia. Cuatrecasas ya había estado en Colombia antes de la Guerra Civil de España y concluirá su carrera en los Estados Unidos; Royo y Gómez, refugiado después de 1939, se radicará posteriormente en Caracas.

El estudio de la fauna Neotropical continúa hoy con pleno vigor. La gran extensión geográfica y variado relieve de Colombia determinan una multiplicidad de ambientes; esto último, unido a su ubicación como puente entre América Central y Sudamérica, ha dado como resultado una alta diversidad y complejidad biológica (Rangel, 1995). Según revisiones recientes (Alberico et al., 2000, Sánchez et al., 1995, Acosta-Galvis, 2000), Colombia es el cuarto país en el ámbito mundial en riqueza de mamíferos y reptiles, con 471 y 475 especies respectivamente, y el primero en aves y anfibios, con 1815 y 583 especies, respectivamente.

En buena medida, el camino hacia el conocimiento de la gran diversidad de la fauna colombiana lo abrió el trabajo pionero del Hermano Nicéforo María. Acertadamente Goin & Cochran (1970) colocan al frente de su libro sobre los anfibios de Colombia la fotografía de este ilustre naturalista, con la siguiente nota: *Dedicated to Brother Nicéforo María, whose pioneering work in Colombian Herpetology has cleared a path that makes it easier for those who follow.*

Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a numerosas personas que contribuyeron a la redacción de este artículo. En el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, el Dr. Ángel L. Vilorio y el Dr. Jon Paúl Rodríguez aportaron valiosos datos sobre la historia de la

ciencia en Latinoamérica y la sistemática de vertebrados, respectivamente; el Dr. Jesús Eloy Conde leyó críticamente el manuscrito; el Lic. Héctor Suárez compiló informaciones en diversas bases de datos y la Lic. Carolina Cordobés obtuvo material bibliográfico. En el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, la Profesora Martha Campos suministró referencias bibliográficas y el Lic. Arturo de la Rosa nos envió varios artículos originales del Hermano Nicéforo María.

Bibliografía citada

- Acosta-Galvis, A. R. 2000. Ranas, Salamandras y Caecilias (Tetrapoda:Amphibia) de Colombia. *Biota colombiana* 1: 289-319.
- Alberico, M., A. Cadena, J. Hernández-Camacho & Y. Muñoz-Saba. 2000. Mamíferos (Synapsida:Theria) de Colombia. *Biota colombiana* 1: 43-75.
- Anónimo. 1937. La adquisición probable del Museo de La Salle por el Gobierno Nacional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 1(3): 287.
- Cochran, D. & C. J. Goin. 1970. Frogs of Colombia. *United States National Museum Bulletin* 288. Pp. xii, 655. Washington D. C.
- Cuervo Márquez, L. 1937. En: Anónimo. 1937. La adquisición probable del Museo de La Salle por el Gobierno Nacional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 1(3): 287-288.
- de Schauensee, R. M. 1964. The birds of Colombia. *Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, pp. x, 427. Narbeth, Pennsylvania.
- Fuhrmann, O. & E. Mayor. 1914. Quelques mois en Colombie. En: O. Fuhrmann & E. Mayor, eds., *Voyage d'exploration scientifique en Colombie.- Mémoires de la Société neuchâtoise des Sciences naturelles* 5: 11-116.
- Goin, C. J. & D. M. Cochran. 1970. Frogs of Colombia. *United States Bulletin* 288.: xii+655.
- Gredilla, A. E. 1911. Biografía de José Celestino Mutis con la relación de su viaje y estudios practicados en el Nuevo Reino de Granada. *Establecimiento Tipográfico de Foranet, Madrid*. 712 pp.
- López López, H. 1989. Contribución de los lasallistas a las ciencias naturales en Colombia. Bogotá: Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis".
- Melo Leitão, C. de. 1941. Catálogo dos aranhas da Colombia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 12(4): 233-300.
- Moret, P. 1995. Entomologistes et chasseurs d'insectes en Amérique du Sud au XIX^e siècle. En: Y. Laissus, *Les naturalistes français en Amérique du Sud XVI^e-XIX^e siècles*. Paris: Éditions du CTHS, p. 395-408.
- Rodríguez, J. P. & F. Rojas Suárez. 1998. El libro rojo de la fauna venezolana. PROVITA, Fundación Polar, Caracas.
- Rodríguez, G. 1980. Description préliminaire de quelques espèces et genres nouveaux de crabes d'eaux douces de l'Amérique Tropicale. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris)*, Serie 2: 885-894.

Rodríguez, G. 1993. From Oviedo to Rathbun: The development of brachyuran crab taxonomy in the Neotropics (1535-1937). In: F. Truesdale (ed.), *The History of Carcinology, Crustacean Issues 5*: 41-73.

Salazar, J. A. 1999. Notas biográficas a una historia de la Lepidopterología en Colombia durante el siglo XX. *Boletín del Museo de Historia Natural (Manizales)*, 3: 1-110.

Sánchez -C., H., O. Castaño-M. & G. Cárdenas-A. 1995. Diversidad de los reptiles en Colombia. En: J. O. Rangel Ch. Colombia: Diversidad biótica I. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, p. 277-325.

PUBLICACIONES DEL HERMANO NICÉFORO MARÍA

1921. Las ardillas de la región de Medellín. *Boletín del Colegio San José de Medellín*. 10(11): 185-186.

1923a. Los Troquílidos del Museo del Instituto de La Salle. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 11(70): 245-254.

1923b. Los Troquílidos del Museo del Instituto de La Salle (Continuación). *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 11(71): 284-296.

1923c. Guagua caballuna, *Dinomys branickii*. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 11(72): 317-320.

1923d. Los Charadriiformes del Museo del Instituto de La Salle. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 11(72): 321-339.

1923e. Breves apuntes sobre la fauna y particularmente sobre la avifauna observada en el itinerario de la excursión científica. *Boletín del Instituto de La Salle* 85: 163-167.

1924a. Algunos mamíferos nuevos de las regiones de Medellín y de Bogotá, clasificados por el eminente mamólogo doctor Oldfield Thomas. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales*. 13(74): 3-11 (Traducción).

1924b. Nueva especie de Ursidos colombianos. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 13(76): 113-117.

1924c. Apuntes sobre las Pacas, borragos o guaguas. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 13(77): 153-155 (Traducción).

1924d. Mamíferos nuevos de Colombia descritos por el Dr. Glover Morrill Allen. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 13(77): 155-160 (Traducción).

1924d. El Jaguar negro o pantera negra *Felis onca* (L.) *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 13(78): 172-173.

1924e. Un nuevo *Gymnophis* de la fauna de Colombia, *Gymnophis nicefori* Barbour sp. nov. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 13(78): 174-175 (Traducción).

1924f. Serpiente del género *Helminthophis*, nueva para la ciencia. *Boletín de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 13(78): 175-176 (Traducción).

1925. El Ratón Runcho *Caenolestes obscurus* Thomas. *Boletín del Instituto de La Salle* 12(96): 34-37 (Traducción).

1928. El Wapiti o Ciervo del Canadá: *Cervus canadensis*. *Boletín del Instituto de La Salle* 15(111): 10-14 (Traducción y anotaciones).

1929a. Rabo de Chucha del Chocó, *Bothrops leptura* Amaral (= *Bothrops punctata* García). *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 18(103): 185-188.

1929b. Observaciones acerca de algunos nombres científicos que emplea el Dr. Evaristo García en su obra titulada "Los ofidios venenosos del Colombia". *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 18(103): 189-191.

1929c. Rana nueva del grupo de las Braquicéfalidos. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 18(103): 193-194 (Traducción).

1929d. Un lagarto de la fauna de Colombia, *Anadia nicefori* Loveridge sp. nov. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 18(103): 191-193.

1930a. Una rana gigante de Villavicencio, *Leptodactylus pentadactylus*. *Boletín del Instituto de La Salle* 17(122): 3-5.

1930b. La colgadora o vibora *Bothrops schlegelii*. *Boletín del Instituto de La Salle* 17(125): 129-132.

1930c. Rana de Colombia nueva para la ciencia, *Phyllomedusa nicefori*. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 19(104): 5-6 (Traducción).

1930d. Los reptiles de Villavicencio en el Museo de La Salle. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 19(105): 40-54.

1930e. Batracio nuevo de Colombia, *Cryptobatrachus incertus* Barbour sp. nov. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 19(105): 54-55 (Traducción).

1930f. Reptiles y batracios de Honda, Tolima, en el Museo de La Salle. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 19(106): 96-104.

1931a. La Toche voladora *Spilotes pallatus pallatus* (Linn.). *Boletín del Instituto de La Salle* 18(128): 57-63.

1931b. Un ofidio de Antioquia nuevo para la ciencia *Atrocus lasallei* Amaral. *Boletín del Instituto de La Salle* 18(131): 236-2 (Traducción).

1931c. Dos especies nuevas de ofidios de Colombia. *Revista de la Sociedad Colombiana de Ciencias Naturales* 110: 48-52 (Traducción).

1933. Un lagarto curioso de Santander, *Bachia bicolor* Cope. *Auras del Fonce*: 1-4 (Traducción y anotaciones).

1938a. Herpetología. *Boa horridana cockii* Gray. *Boletín del Instituto de La Salle* 25(155-156): 35-40.

1938b. Rapaces diurnas de Colombia. El cóndor de los Andes. *Boletín del Instituto de La Salle* 25(155-156): 28-54.

1938c. Las serpientes de Colombia de hocico proboscídeo. Grupo *Bothrops lansbergi-nasuta-hyoprora*. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales* 2(7): 415-421.

1939. Contribución al estudio de la ofiología de Colombia. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales* 3(9-10): 91-94.

1940a. Los troquílidos del Museo de La Salle. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales* 3(11): 314-332.

1940b. Estudio sobre la verrugosa o riega: *Lachesis muta* (L.) *Boletín del Instituto de La Salle* 27(165-166): 271-279.

1942. Los ofidios de Colombia. Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales. 5(17): 84-101.
1945. Notas sobre aves de Colombia. I. *Caldasia* 3(14): 567-395.
- 1947a. Notas sobre aves de Colombia. II. *Caldasia* 4(19): 317-377.
- 1947b. Quirópteros de Colombia. Boletín del Instituto de La Salle 34(181-182): 34-47.
- 1948a. Notas sobre aves de Colombia. III. *Caldasia* 5(21): 201-210.
- 1948b. Contribución al conocimiento de los ofidios de Colombia. El aguilucho (Colegio Provincial San José, Pamplona, N de S): 149-151.
1952. Testudíneos del Suborden Pleurodira en el Museo de la Salle. Boletín del Instituto de La Salle 39(190-191): 14-21.
- 1953a. Tortugas marinas de Colombia. Boletín del Instituto de La Salle 40(192-193): 14-22.
- 1953b. Una tortuga del Río Apaporis. Intendencia del Caquetá. Boletín del Instituto de La Salle 40(192-193): 22-25.
- 1955a. Hallazgo de *Diadurum virgo* Thomas en Colombia. Boletín del Instituto de La Salle 42(195): 72-75.
- 1955b. Notas sobre aves de Colombia. IV. *Caldasia* 7(32): 173-475.
- 1955c. El caimán Yacaré Negro: *Melanosuchus niger* Spix en Colombia. *Caldasia* 7(32): 177-184.
- 1955d. Una Cracida nueva para la avifauna de Colombia. *Caldasia* 7(32): 177-184.
- 1956a. Una captura interesante. Boletín del Instituto de La Salle 43(196): 17-19.
- 1956b. Sobre dos ofidios de la Colección de La Salle. Boletín del Instituto de La Salle 43(196): 19-22.
- 1958a. Reptilia Serpentes. Dos casos de albinismo en los ofidios de Colombia. Boletín del Instituto de La Salle 45 (198): 17-19.
- 1958b. Una especie enana de la familia Boidae. Boletín del Instituto de La Salle 45(198): 19-20, 21-24.
- 1958c. Chelonia Pleurodira. Boletín del Instituto de La Salle 45(198): 24-26.
- 1958d. Hallazgo de los huevos de *Bolitoglossa adspersa* (Peters). Boletín del Instituto de La Salle 45(198): 26-28.
- 1958e. Ranas de la familia Pipidae en Colombia. Boletín del Instituto de La Salle 45(198): 28-32.
- 1958f. Contribución al estudio de los Testudíneos de Colombia. Familia Eydidae. *Geomyda punctularia diademata* Mertens. Boletín Cultural. Colegio San José, Medellín 23: 31-37.
- 1964a. Herpetología. Boletín del Instituto de La Salle 204: 129-135. [Incluye las siguientes notas: Suborden Sauria. Familia Teiidae, género *Bachia*, p. 129-132; Suborden Serpentes. Familia Colubridae. Subfamilia Xenodontinae, género *Pseudoeryx*, p. 132-133; Familia Viperida. Subfamilia Crotalinae, género *Bothrops*, p. 133-135].
1967. Fauna parcial y algunos fósiles de la región de Pamplona. El Aguilucho. Colegio Provincial de San José, Pamplona (N. de S) 29(44):97-108. [Incluye las siguientes notas: Lista de las aves de la región de Pamplona p. 97-102; Saurios de Pamplona p. 102-103, Ofidios de Pamplona pp. 104; I Algunas arañas de la fauna pamplonesa, p. 104-105. II Especies de arañas de la Colección de La Salle, descritas como nuevas p.105-107; Fósiles pp. 107-108].
1970. Herpetología. Contribución al conocimiento de los ofidios de Colombia. Boletín del Instituto de La Salle 270: 309-314.
1975. Contribución al estudio de las serpientes de Colombia II. Boletín del Instituto de La Salle (Bogotá), 215: 166-169.

PUBLICACIONES EN COLABORACIÓN CON ANTONIO OLIVARES

- 1964b. Adiciones a la Avifauna de Colombia. I. Tinamidae-Falconidae. Boletín del Instituto de La Salle, Bogotá 204: 264-285.
1965. Adiciones a la Avifauna de Colombia. II. Cracidae-Rynchopidae. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales (Caracas), 26(109): 36-58.
1966. Adiciones a la Avifauna de Colombia. III. Columbidae-Caprimulgidae. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales (Caracas), 110: 370-393.
1967. Adiciones a la Avifauna de Colombia. IV. Apodidae-Picidae. El Hornero (Buenos Aires) 10(4): 403-415.
1968. Adiciones a la Avifauna de Colombia. V. Dendrocolaptidae-Cotingidae. Boletín del Instituto de La Salle (Bogotá) 208: 71-291.
1975. Adiciones a la Avifauna de Colombia. VIA Tyrannidae. Lozania 19: 1-16.
1976. Adiciones a la Avifauna de Colombia. VIB. Tyrannidae-Bombicillidae. Lozania 20: 19-32.
1976. Adiciones a la Avifauna de Colombia. VIC. Tyrannidae-Bombicillidae. Lozania 21: 1-15.
1977. Adiciones a la Avifauna de Colombia. VII. Vireonidae-Fringillidae. Revista de la Universidad Católica de La Salle 1(4): 69-113.

CIEN AÑOS DE HISTORIA DE LA MATEMÁTICA EN COLOMBIA 1848-1948

por

Clara Helena Sánchez Botero¹

Resumen

Sánchez Botero, CH.: Cien años de la matemática en Colombia: 1848-1948. Acad. Colomb. Cienc. **26**(99): 239-260, 2002. ISSN 0370-3908.

Se pretende en este artículo hacer un panorama de los momentos culminantes, instituciones y personajes sobresalientes de la historia de la matemática superior en Colombia, desde la fundación del *Colegio Militar* hasta la llegada del profesor italiano CARLO FEDERICI a la antigua Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional en 1948, quien lideró la creación de la primera carrera de matemáticas en el país y con ello el estudio y asimilación de la matemática moderna.

Palabras clave: Historia, matemática, Colombia.

Abstract

An overview of the history of mathematics in Colombia from the foundation of the *Colegio Militar* (1848) to the arrival of the Italian mathematician Carlo Federico in 1948, is presented.

Key words: History, mathematics, Colombia.

En el año de 1948 dos acontecimientos marcaron un cambio fundamental en la historia de las matemáticas en Colombia, la llegada el 8 de abril del profesor italiano CARLO FEDERICI CASA a la antigua Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional y la fundación, el 16 de noviembre, de la Universidad de los Andes. Al profesor

FEDERICI y a sus alumnos de la Facultad de Ciencias debemos la creación de la carrera de matemáticas, como una Especialización en Matemáticas Superiores en 1951 y la creación del Departamento de Matemáticas y Estadística en 1956 [SÁNCHEZ, 1997].

¹ Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

En la Universidad de los Andes se estableció el primer Departamento de Matemáticas del país, cuyo fin en sus comienzos era el de responsabilizarse por todos los cursos de matemáticas que se dictaban en la universidad. MARIO LASERNA y el grupo de fundadores había adoptado el modelo norteamericano de un ciclo básico común en todas las carreras, en el cual las matemáticas eran parte fundamental [SÁNCHEZ, 1998, 53-61]. A este departamento llegó en 1951 el profesor JUAN HORVÁTH, quien fue su director hasta 1957, año en que se radicó en los Estados Unidos en la Universidad de Maryland [HORVÁTH, 1993, 119-128]. FEDERICI y HORVÁTH formaron el primer grupo de seis matemáticos² con objetivos que superaban el de la docencia universitaria.

Ellos conjuntamente con los profesores de matemáticas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional, que por ese entonces se llamaba Facultad de Matemáticas e Ingeniería, le dieron a la matemática el impulso que necesitaba para abrirse un espacio propio en la comunidad científica y académica colombiana. Este periodo de cambio que se dio en los años cincuenta ha sido llamado, con justa razón, por ALONSO TAKAHASHI la *década heroica* [TAKAHASHI, 1990], pues además de lo ya señalado se fundó en 1952 la *Revista de Matemáticas Elementales* conjuntamente por las Universidades Nacional y de los Andes, y en 1955 la *Sociedad Colombiana de Matemáticas*, ambas con el propósito de estimular el estudio de la matemática en Colombia.

Un siglo antes, el 2 de enero de 1848, se abrió el *Colegio Militar*, en el cual la matemática fue de especial importancia para la formación de nuestros primeros ingenieros civiles y militares. Ellos constituyen el origen de la comunidad matemática colombiana. En este trabajo nos proponemos hacer un panorama de la historia de la matemática en Colombia en el ámbito universitario resaltando las instituciones y personajes sobresalientes durante este periodo de cien años.

El Colegio Militar

La historia comienza, pues, con la fundación del *Colegio Militar*, con el fin de formar "científicamente" ingenieros civiles y militares. Se cumplía con ello el sueño

de un hombre y de un grupo de patriotas que desde los tiempos de la Independencia deseaban formar ingenieros profesionales con una buena educación matemática.³

El primer gobierno del general MOSQUERA había apoyado la idea de LINO DE POMBO de fundar una escuela de ingeniería inspirada en el modelo francés de la Escuela Politécnica de París.

POMBO comenzó a interesarse desde niño por el estudio de las matemáticas al lado de FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS en el Colegio Mayor del Rosario y en el Observatorio Astronómico de Bogotá. Sin embargo, sus estudios se vieron interrumpidos en 1810, a la edad de trece años, para enrolarse en las tropas que luchaban por la Independencia al lado del general SANTANDER. Cinco años más tarde, siendo teniente de ingenieros, fue tomado preso por los españoles y llevado a España a pagar una condena de ocho años. Sus tíos O'DONELL, militares de alto prestigio en España, lograron que fuera liberado e ingresara a la *Academia del Real Cuerpo de Ingenieros de Alcalá de Henares*, donde estudió matemáticas.

Para poder ingresar a este centro se necesitaba pertenecer a la nobleza, ser hijo de teniente coronel o ser oficial de graduación. Además, se requería presentar un examen ante un tribunal de oficiales ingenieros en el que se demostraran conocimientos de álgebra, cálculo infinitesimal, dinámica, hidrodinámica y fortificación. El plan de estudios era fundamentalmente científico y militar, y se hacía énfasis en el estudio de la geometría analítica y la geometría descriptiva, cuyo profesor MARIANO ZORRAQUÍN escribió un libro de texto basado en las obras de autores franceses como MONGE, LACROIX, y PUISANT. El libro fue publicado en 1819 y se considera el primer texto en español sobre geometría descriptiva [VELAMAZÁN, 1994, 32-48].

Siendo aún estudiante en la Academia de Alcalá de Henares, POMBO se alistó en 1819 en las filas del coronel RAFAEL DEL RIEGO, quien se había rebelado contra el Rey FERNANDO VII, para imponer de nuevo la Constitución de 1812. Nuevamente fue tomado preso, ahora por los franceses. Logró huir a Inglaterra, donde ocupó

² PABLO CASAS SANTOFIMBO (1951), LUCIANO MORA OSEJO (1953), ERWIN VON DER WALDE (1955), JOSÉ IGNACIO NIETO (1956), GUILLERMO RESTREPO (1959) y ALBERTO CAMPOS (1959).

³ En 1814, en plena guerra de independencia, don Juan del Corral fundó en Rionegro (Antioquia) el Colegio Militar de Ingenieros, y llamó a FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS para dirigirlo. El colegio inició labores en octubre bajo la dirección y docencia académica de CALDAS y la orientación militar de SERNETZ. Entre sus alumnos estaba JOSÉ MARÍA CORDORA. Además de la dirección y la enseñanza, CALDAS se empeñó en dos proyectos de industria militar: fabricar pólvora y fundir cañones, y en ambos tuvo éxito. Pero en 1816 CALDAS fue llamado por el gobierno central a Bogotá para fundar otra escuela militar. La reconquista española puso fin a todos estos intentos y a la vida de CALDAS. [POVEDA, 1993, IV, 93]

el cargo de secretario de la Legación por orden de SANTANDER, entonces vicepresidente de la nación. Regresó a la patria, ahora llamada Gran Colombia, en 1825, y se puso a órdenes del gobierno. SANTANDER lo envió al Puerto de Buenaventura a proyectar las fortificaciones deseables para aquella aldea y prosiguió a Guayaquil a practicar un reconocimiento militar [ESPINOSA, 1998, 67]. Apenas un año después el propio SANTANDER lo envió a París a culminar sus estudios de matemáticas e ingeniería en la famosa Escuela de Puentes y Calzadas (*École des Ponts et des Chaussées*). Allí recibió el grado de ingeniero un año después. Fue el primer colombiano en recibirlo [ESPINOSA, 1998, 72].

A su regreso en 1827 se incorporó al servicio activo con el grado de coronel de ingenieros y con el cargo de segundo ayudante del Estado Mayor General. En 1829 marchó al lado del general MOSQUERA a reprimir un alzamiento en el sur del país. Arriesgando su vida logró salvar la del general MOSQUERA. Después de este hecho tomó una decisión, separarse del ejército y dedicarse a su vocación, la docencia de las matemáticas. Su renuncia es relatada por ESPINOSA [1998, 74] en su historia novelada de POMBO de la siguiente manera:

Usted me acompañó en el Magdalena –le dijo Bolívar–. Me gustaría que siguiera haciéndolo. Usted posee un futuro promisorio en el Ejército.

No, Libertador –repuso Lino–. Mi verdadera vocación no son las armas, sino las matemáticas. Estoy seguro de poder servir mejor a la patria en una cátedra.

A su retiro se vinculó a la Universidad del Cauca donde comenzó a dictar cursos de matemáticas elementales, geometría analítica, álgebra y trigonometría, el día primero de octubre de 1830. Pero su ejercicio docente no duró mucho tiempo, pues apenas dos años después fue llamado a ocupar el cargo de Secretario del Interior y de Relaciones Exteriores por SANTANDER. Comenzó así su brillante trayectoria en diferentes cargos en el estado aplazando su deseo de enseñar matemáticas, como las había aprendido en España y Francia, hasta aquél 2 de enero de 1848 en que comenzaron las tareas en el *Colegio Militar*. Aunque la dirección estaba a cargo del general JOSÉ MARÍA ORTEGA, LINO DE POMBO fue el alma y líder de la institución. Él mismo se encargó de los cursos de matemáticas con el apoyo del francés AIMÉ BERGERON, quien habría venido a la Nueva Granada al Instituto de Ciencias Naturales también creado por el gobierno de MOSQUERA.

La carrera de ingeniería tenía un programa en el cual se dedicaban los tres primeros años al estudio de: aritmética, álgebra, trigonometría plana y esférica, geometría analítica, geometría proyectiva y cálculo diferencial e integral. Los otros dos años a cursos de ingeniería civil y militar. Aunque el *Colegio* debía formar ingenieros civiles y militares, LINO DE POMBO le dio desde el comienzo un énfasis fuerte a la ingeniería civil. La influencia francesa se puede apreciar en una remesa de libros, la mayoría de ellos de matemáticas, y cuya lista presentamos en el Apéndice 1.

El siglo XIX estuvo plagado por muchas guerras civiles, de modo que la inestabilidad política era permanente. Esta situación se reflejó directamente sobre el *Colegio*. Pero a pesar de su corta vida, 1848–1854, dejó huella perdurable en la ingeniería y en la matemática colombiana. Al respecto dice SAFFORD [1989, 277–278]:

Del pequeño grupo de individuos que terminó sus estudios antes de 1854, o que estuvieron cerca de hacerlo, siete contribuyeron de manera notable a la construcción de caminos y ferrovías, y por lo menos dos más se desempeñaron en papeles de menor importancia.... También se dedicaron a actividades tan diversas como la agrimensura, la cartografía, el ensayo de metales, la observación de fenómenos astronómicos y meteorológicos, la construcción de puentes, la desecación de lagos; la instalación de ferreterías, la construcción de acueductos y la dirección de empresas, desde ferrovías hasta fábricas de gas. Algunos de estos mismos individuos constituyeron el primer cuerpo de profesores de ciencias e ingeniería.

El *Colegio* fue reabierto en 1866, en una nueva administración de MOSQUERA, bajo la dirección de LUIS MARÍA LLERAS (1842–1885), y apenas un año después fue absorbido por la *Escuela de Ingeniería* de la Universidad Nacional fundada en 1867. Entre 1881 y 1885 se separó la Escuela de Ingeniería de la Universidad Nacional y pasó a ser nuevamente un colegio militar bajo la dependencia directa del Ministerio de Guerra.

Como ya hemos señalado, POMBO se inspiró en el modelo francés de la *École Polytechnique*, uno de cuyos objetivos era elaborar textos de matemáticas para que la enseñanza se hiciera más democrática, más accesible a grupos numerosos. El propio LINO DE POMBO elaboró y publicó *Lecciones de Aritmética y Álgebra* (1858)

y *Lecciones de Geometría Analítica* (1850) y tenemos el testimonio de uno de sus alumnos, MANUEL PONCE DE LEÓN, de que estuvo trabajando en sus lecciones de trigonometría, topografía, geometría descriptiva y "seis adicionales de introducción al cálculo diferencial e integral, lecciones que son un modelo por la doctrina que encierran, por la elegancia del estilo y por la precisión en el lenguaje matemático."⁴

Igualmente nos queda el libro de aritmética de AIMÉ BERGERON [BERGERON, 1848] y las notas de su clase de cálculo diferencial dictadas en 1851. Dada la fecha de apertura del *Colegio* y el pènsum del mismo es fácil deducir que éste tuvo que ser el primer curso de cálculo de esta institución, y muy probablemente el primero dictado en el país. El manuscrito se encuentra en perfectas condiciones, consta de 24 páginas y contiene cuatro figuras. Comienza con las nociones más elementales del cálculo como son las definiciones de función, variable, límite, derivada, etc. y termina con el estudio de las funciones trascendentes elementales [ALBIS, V. & SÁNCHEZ, C. H., 1998]. Sobre la vida de BERGERON es muy poco lo que se sabe; su descripción física se encuentra en el libro *Reminiscencias de Santafé y Bogotá* de CORDOVEZ MOURE [1957], donde además se cuenta del interés del francés por encontrar el famoso *venado de oro* en las cercanías de Bogotá y hacerse así rico [ALBIS, 1998].

Indalecio Liévano

Entre los alumnos destacados del *Colegio* encontramos a INDALECIO LIÉVANO (1834-1913), autor de tres interesantes publicaciones: *Tratado de Aritmética* (1858), *Tratado de Álgebra* (1875) e *Investigaciones Científicas* (1871). En la última LIÉVANO afirma:

Habiéndome propuesto llenar todos los vacíos que existían en Aritmética, Álgebra, y Geometría creo haberlo logrado completamente; y mientras que publiqué el Álgebra y la Geometría y la segunda edición de la Aritmética cuya primera edición ya está agotada, he resuelto reunir en esta publicación que la motiva la teoría de las paralelas, algunas cosas de las más notables en estas investigaciones.

La obra, de 88 páginas, trata de los siguientes cinco temas: teoría de las paralelas sin postulado, números incommensurables, teorema de la proporcionalidad de las

cantidades, teorema que establece la identidad de dos polinomios iguales, solución completa del problema del interés compuesto y estudios filosóficos.

En su *Tratado de aritmética*, el cual publicó LIÉVANO con apenas 22 años de edad, había expuesto ya su teoría de los números incommensurables (págs. 16-121); define los irracionales como la *cantidad representada por un número decimal ilimitado i no periódico (puesto que no puede expresarse exactamente por ningún quebrado) no tendrá parte alicuota común con la unidad, i será por tanto incommensurable con ella.* [LIÉVANO, 1872, 117] Su teoría, sin embargo, es incompleta y tiene serias deficiencias; parece que comete la circularidad de definir un número irracional como el límite de una serie convergente, pero para que esto suceda el número debe existir ya en el conjunto en el cual se supone que la serie converge. Igualmente su "demostración" del postulado de Euclides comete el típico error de usar un postulado equivalente, según el análisis cuidadoso hecho por VÍCTOR ALBIS en su trabajo *Visicitudes del Postulado Euclideo en Colombia* [ALBIS, 1997]. En cambio el libro de álgebra es un buen texto que abarca un amplio espectro del tema. El mérito de Liévano, a pesar de sus errores, está en haber intentado resolver problemas de actualidad en su época.

LIÉVANO fue profesor de matemáticas en el Colegio de San Bartolomé y en las Escuelas de Ingeniería y de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional y sus libros de aritmética y álgebra fueron textos oficiales en esas escuelas. Además fue director del Observatorio Astronómico entre 1866 y 1867 y como ingeniero participó, entre otros proyectos, en los del camino más corto entre Bogotá y el río Magdalena en Honda y el trazado de una vía férrea a Girardot.

La Escuela de Ingeniería de Bogotá

La Escuela de Ingeniería de la Universidad Nacional comenzó labores bajo la dirección del coronel ANTONIO R. DE NARVÁEZ, ingeniero del *Colegio*, el 2 febrero de 1868, con 29 estudiantes de diferentes regiones del país, con los mismos lineamientos académicos de esta institución: tres años dedicados al estudio de las matemáticas, comenzando por la aritmética y terminando con el cálculo diferencial e integral, y los dos restantes a la geodesia, la maquinaria, la arquitectura y las construcciones civiles. (Véase el Apéndice 2A.) Había además "cursos extraordinarios" de moral universal, astronomía y

⁴Informe del Rector de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería, 1894. Copiador 1891-1896, Archivo Histórico Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional.

metereología. La clase de astronomía debía realizarse en el Observatorio astronómico tres veces por semana y estaba a cargo del director del mismo.⁵

Se quería estimular el estudio de profesiones distintas de las tradicionales medicina, derecho y teología. Los ingenieros eran necesarios para la construcción de vías de comunicación indispensables para el desarrollo del país. Igualmente empezaron a trabajar en la mejora de los servicios públicos: acueductos, energía eléctrica y teléfonos.

RUPERTO FERREIRA (1845–1912), natural de Santa Marta, obtuvo el primer título de ingeniero civil y militar en la Universidad Nacional en 1870. FERREIRA fue un prestante ingeniero y profesor de las Escuelas de Literatura y Filosofía y de Ingeniería hasta 1905, año en que se retiró siendo rector de la Universidad.

El título de Profesor de Matemáticas

En la década de los 80 del siglo XIX surgió una fuerte polémica sobre la enseñanza de las matemáticas en la carrera de ingeniería. Algunos consideraban que la enseñanza era muy teórica y no se hacía énfasis en las aplicaciones prácticas a la ingeniería, mientras otros defendían la formación matemática en sí misma. Líder de los primeros fue el ingeniero MIGUEL TRIANA (1859–1931) quien proponía disminuir el número de cursos de matemáticas y el tiempo de duración de la carrera a cuatro años [TRIANA, 1887]. Defensor de la buena formación matemática fue MANUEL ANTONIO RUEDA (1858–1907), quien propuso una carrera de siete años, los cuatro primeros dedicados exclusivamente a las matemáticas y “en cada uno de los tres siguientes se hará el aprendizaje científico y práctico de un grupo de materias aplicativas. De suerte que un profesor se forma en cuatro años, un ingeniero especialista en un grupo se forma en cinco; un especialista en dos grupos en seis años; y un ingeniero civil completo requiere siete años.” [RUEDA, 1887]. La polémica terminó en 1888 con el Reglamento General de la *Facultad de Ciencias Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional* y una solución salomónica: una carrera de cinco años y la creación del título de *Profesor en matemáticas* para quien hubiera aprobado con “plenitud” todos los cursos de matemáticas y hubiera realizado una tesis sobre alguno de los temas del área, y un título de ingeniero

para quien hiciera y aprobara todos los cursos de la carrera, incluyendo los de matemáticas, y una tesis que en algunos casos también versó sobre temas matemáticos.

El título de Profesor en matemáticas fue obtenido según nuestras fuentes por unos 50 estudiantes. Nos quedan apenas 36 de las tesis, manuscritas, presentadas por ellos, las cuales relacionamos en el Apéndice 3. El título se entregó por última vez en 1903 al señor RICARDO PÉREZ con la tesis *Nociones elementales sobre el movimiento de los proyectiles*, cuyo contenido desconocemos. La Universidad había sido reabierta unos meses antes, después de la cruenta Guerra de los Mil Días. Con el título de PÉREZ se cierra un capítulo bien interesante de nuestra historia. Aunque en la Facultad de Matemáticas e Ingeniería en la reforma de 1906 se crearon los títulos de Licenciado en Matemáticas y Doctor, hasta donde sabemos nadie los obtuvo.

De los títulos de los trabajos encontrados se concluye inmediatamente que, como era usual en el siglo XIX, el área de matemáticas incluía la astronomía y la geodesia, la física teórica y la mecánica. Las tesis tratan de todos estos temas así: 3 de astronomía, 11 de física, 3 de topografía, y las demás de geometría analítica, álgebra y trigonometría.

Es claro del análisis de las “tesis” que éstas no eran tesis en el sentido que hoy entendemos la palabra, pues consistían, más bien, en ejercicios especiales resueltos por los estudiantes. No sabemos si el estudiante podía escoger su tema o si era determinado por un comité; tampoco es claro el tiempo que tenían para desarrollar su trabajo, pues, aunque la reglamentación establecía ocho días para ese propósito, la longitud y dificultad de algunas tesis nos hacen suponer que no pudieron ser hechas en tan corto tiempo. Algunas son ejercicios difíciles del *Cours d'analyse* de CH. STURM (1888)⁶, o de alguno de los textos de la serie de SONNET⁷, como su libro de geometría analítica (con FRONTERA y traducido al español por MANUEL MARÍA BARBERY (1893)), su *Calcul infinitésimal* (1869) o su *Dictionnaire de mathématiques Appliquées*. Otras parecen ser traducciones de partes de libros usados durante sus cursos.

Usualmente no se daban referencias, o las daban muy incompletas, por lo que parte de nuestro trabajo ha consistido en rastrear las fuentes en que ellos se apoyaron y,

⁵El decreto reglamentario de la Universidad en su capítulo XXII establecía el pensum de la carrera de ingeniería y las condiciones de ingreso (bachillerato en literatura). Igualmente establecía que para tomar los cursos de astronomía era necesario haber aprobado los cursos básicos de matemáticas: aritmética, álgebra, trigonometría plana y esférica.

⁶*Cours d'analyse*, París, Gauthier-Villars, 1888.

⁷SONNET & FRONTERA, *Elementos de geometría analítica*, Madrid, De Bailly-Baillière e hijos, 1893, 9a. edición.

de esta manera, ser más justos en nuestro análisis. Las referencias más frecuentes hacen a los textos de STURM y SONNET antes mencionados, lo cual reafirma la influencia francesa en nuestra academia durante la segunda mitad del siglo XIX, influencia que permaneció en la Facultad de Ingeniería de Bogotá hasta bien entrado el siglo XX [SÁNCHEZ, 1999, 687-705].

RUEDA CARDOZO [1982, 103] define muy bien en los siguientes párrafos lo que significó la matemática en la profesionalización de la ingeniería en Colombia y el papel de ésta en la profesionalización de las matemáticas:

Mientras que las matemáticas fueron un requisito elemental (uno de los elementos formales: el programa académico), para profesionalizar la ingeniería, a su vez la ingeniería fue un requisito total (ambos elementos formales: el programa académico y la titulación legal), para profesionalizar las matemáticas.

*Fue un proceso curioso que determinó la organización estructural de la educación del país al rano de las matemáticas, al concederle precisamente su profesionalización a partir de una profesión que se había hecho a sus expensas.*⁸

Julio Garavito Armero

Uno de los personajes sobresalientes en la Escuela y en la vida científica de esta época fue JULIO GARAVITO ARMERO (1865-1920). En 1891 presentó su solicitud a grado de Profesor en matemáticas con un trabajo titulado *El juego de la Aguja*⁹, en el cual hace los cálculos para obtener el valor de π por medio de probabilidades al estilo de BUFFON. Obtuvo sin embargo su título, el primero que se otorgó, con una tesis titulada *Sección meridiana de un manómetro de aire comprimido para que la graduación sea uniforme*¹⁰, y se graduó como ingeniero con un trabajo sobre las armaduras Warrang [GARAVITO, 1891, 277-287]; comenzó igualmente sus labores como profesor al encargarse de la cátedra de cálculo diferencial. En 1892, apenas a un año de su graduación, fue nombrado Director del Observatorio Astronómico, cargo que ocupó hasta su muerte en 1920.

⁸Serán estudiantes de ingeniería los que con el profesor FERRUCI darán el salto a la "verdadera" profesionalización de las matemáticas, proceso que como dijimos al comienzo de este escrito comenzó a finales de la década de los 40 del siglo XX.

⁹Anales de Ingeniería, 4 (896), 347-351.

¹⁰En la tesis no se da referencia alguna, y parece que generó polémica, ya que en los *Anales de Ingeniería*, 4, pág. 324, MANUEL A. RUEDA sale en su defensa en una breve nota titulada *Una Palabra de Justicia*. En ésta dice RUEDA CARDOZO: "Se nos dice que este punto ha sido resuelto hace poco en Europa; pero esto nada quita a la gloria de que es digno nuestro amigo y discípulo por haber dado al problema una solución satisfactoria y perfectamente original, pues es de advertir que el método inventado en el viejo mundo no es conocido entre nosotros. En ese particular nos atenemos a la opinión e informes de un ilustrado colega nuestro."

El curso de cálculo en la Escuela de Ingeniería tuvo como texto, prácticamente desde sus comienzos y hasta la mitad del siglo XX, al libro de CH. STURM. En dos volúmenes y setenta lecciones se expone allí el cálculo diferencial e integral. Es claro que el curso de cálculo de GARAVITO se basó en este libro y de él quedan las notas tomadas y redactadas en 1912 por los estudiantes JOSÉ ANTONIO MUÑOZ T. y E. MERCHÁN [VILLEGAS, 1992].

GARAVITO, reconocido como uno de los personajes más significativos de la historia de la ciencia en Colombia, mereció por su trayectoria el honor de que en 1970 la Unión Astronómica Internacional le pusiera su nombre a uno de los cráteres de la luna y en 1998 el Banco de la República escogiera su imagen para el billete de \$20.000, como homenaje a la comunidad científica colombiana. GARAVITO, junto con FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS y JOSÉ CELESTINO MUTIS, forma parte de la mitología científica colombiana, con la gran diferencia de que el primero no ha sido suficientemente estudiado por los historiadores de la ciencia en Colombia, con la excepción de los trabajos sobre astronomía de JORGE ARIAS DE GREIFF [1993].

No dudo de que debe estar entre los científicos más destacados de nuestra historia. Fue un estudioso de muchos temas, como lo demuestran sus numerosas publicaciones, pero sobretodo sus manuscritos inéditos y que se encuentran en el Observatorio Astronómico, su recinto de trabajo por treinta años.

GARAVITO estimuló el estudio de las matemáticas entre sus alumnos; durante el cierre de la Universidad Nacional por la Guerra de los Mil Días continuó reuniéndose con algunos de ellos en el Observatorio. A ellos se les conoció con el nombre de *El círculo de los nueve puntos*, pues según parece, para entrar allí había que dar una demostración del famoso teorema de EULER, pero a pesar de ello no dejó "escuela".

GARAVITO personificó al ingeniero-matemático "bogotano", visto por los círculos intelectuales de Bogotá como un profesional altamente cultivado y socialmente e intelectualmente superior [MAYOR, 1985].

Cuestionado por algunos, ensalzado por otros, un análisis exhaustivo de su obra e influencia hasta nuestros días está por hacerse. GARAVITO cometió varios errores, por lo menos en matemáticas. Veamos:

1. En un artículo publicado en los *Anales de Ingeniería*, en 1897, titulado *Los números incommensurables* anuncia –en la introducción– que se propone hacer notar que la teoría de LIÉVANO, siendo anterior a las de JORDAN y MÉRAY, es más natural y sencilla que aquellas y sin embargo no menos rigurosa.

Nos proponemos hacer la teoría de los números incommensurables que ha dado el señor Indalecio Liévano en su muy notable Tratado de Aritmética. Emplearemos sin embargo el simbolismo general del Análisis con el propósito de hacer la comparación de esta teoría con las que sobre el mismo asunto han dado en sus recientes tratados de Análisis los señores C. Jordan, profesor de la escuela Politécnica de París y Ch. Meray, profesor de la Facultad de Ciencias de Dijon; al hacer esta comparación nos proponemos hacer notar que la teoría del señor Liévano siendo anterior a las dos citadas es más natural y sencilla que aquellas y sin embargo no menos rigurosa.

GARAVITO explica la teoría de LIÉVANO en esa primera parte, aunque no es claro cuál es la parte de JORDAN o la de MÉRAY y en qué se adecuaba la definición de LIÉVANO a la de ellos. Esta sección del artículo termina diciendo *continuará*, pero la segunda parte en la cual se supone “salvará” la teoría de LIÉVANO no apareció jamás. Es claro que no consiguió su propósito. Si en cambio hubiera divulgado en sus clases y en los mismos *Anales de Ingeniería* la obra de tan insignes matemáticos, otra sería la historia del cálculo en Colombia [CASTRO, 1997].

2. Entró en seria polémica con OTTO DE ALENCAR SILVA, “el más importante matemático brasileño de finales del siglo XIX y la primera década del siglo XX”¹¹ por su participación en el Tercer Congreso Científico Latinoamericano realizado en Rio de Janeiro en 1905 con el tema *Teoría racional de la curvatura de las líneas planas y de reverso, sus conexiones con la teoría de las covariables e invariables*, al no reconocer los errores que cometió en su presentación señaladas por el brasileño.

¹¹ OTTO DE ALENCAR SILVA (1874–1912) es considerado por los historiadores de la matemática en Brasil como el matemático más importante de su época. CLOVIS PEREIRA DA SILVA en [1991] y [1992] destaca su papel de vanguardia en la ciencia brasileña al romper en 1898 con la enseñanza arcaica en su país. Dejó una escuela de alumnos destacados que dieron los primeros pasos hacia la consolidación de la ciencia brasileña.

ALENCAR SILVA se había presentado en el mismo campo con el trabajo *Memória sobre algumas questões relativas à teoria dos covariantes e das curvas de dupla curvatura*. Según ALBERTO CAMPOS [1984], quien analizó la polémica Alencar-Silva–Garavito, ésta parece haberse iniciado en las sesiones mismas del congreso y llegar a un punto culminante con el artículo *Juicio crítico a una memoria matemática* publicado en los *Anales de Ingeniería* en ese mismo año [GARAVITO, 1905]. GARAVITO se resintió por la mejor acogida que tuvo el trabajo de ALENCAR SILVA y por los comentarios negativos que hubo a su ponencia dados algunos errores encontrados en ella, y señalados por el brasileño. CAMPOS afirma que aunque ALENCAR SILVA también cometió algunos errores, los de GARAVITO son más significativos.

3. Intentó demostrar el postulado de Euclides en *Nota sobre la fórmula fundamental de la geometría plana no euclídea en la geometría hiperbólica* [1916] pero dice “que no pretendemos demostrar el postulado de Euclides” y sin embargo, lo demuestra sin percatarse de ello [ALBIS, 1997, 291].

4. Descalificó con arrogancia extrema las geometrías no euclidianas y la teoría de la relatividad de Einstein. En su artículo *¿Bancarrota de la ciencia?* [GARAVITO, 1917 (la fecha es importante)] expresa:

La poca labor ejecutada por un puñado de nuestros sabios modernos ha sido suficiente para causar la ruina, que, con materiales acumulados durante treinta siglos, la humanidad había elevado en honor del espíritu humano! Pero una chispa produce en ocasiones un incendio que no deja pavesas. ¿Qué nuevas ideas sucederá? Los cadáveres se convierten en gusanos, la ciencia nueva tomará una forma semejante. Mejor hubiera sido habernos quedado en la cábala y las brujas. Pero quizás vuelvan a surgir como surgen los animales nocturnos cuando muere la luz del día.

Esta posición pedante que rechaza todo aquello que en geometría no se fundamente en el *sentido común*, obviamente expresa la incomodidad conceptual frente a nuevas teorías que van más allá de un reflejo del mundo real, de ese mundo permisiblemente sensible, que, según

la filosofía kantiana, es explicado tan claramente por la geometría de EUCLIDES.

Curiosamente el párrafo anterior no se refiere a GARAVITO sino a un autor anónimo satírico aparecido en la revista rusa *El hijo de la patria* en 1834, en contra de LOBACHÉVSKI, citado en el artículo de ARBOLEDA & ANACONA [1994, 14], para explicar la posición de GARAVITO sobre las geometrías no euclidianas basados en su cosmovisión, de crítica a la modernidad y al progreso que ella representa. Para GARAVITO, según los autores, era imposible "asistir al derrumbe de los axiomas euclidianos como verdades que reflejaban transparentemente la realidad." Para esta época (1916-1917) ya se conocía que "la intuición nos engaña", no solamente por las geometrías no euclidianas sino por los grandes avances de la matemática en el siglo XIX, como la aritmetización del análisis, la teoría de los conjuntos y sus famosas paradojas, temas que aparentemente GARAVITO desconoció.

Dado su prestigio, el impacto de sus opiniones es difícil de cuantificar, pero sí es claro que retrasó la aceptación de estas nuevas teorías en nuestro medio. No me parece casualidad que apenas un año después de su muerte, en un interesante artículo *Las Geometrías no euclídeas, y las objeciones de Garavito*— JULIO CARRIZOSA VALENZUELA [1921], el fundador de la primera Facultad de Ciencias en la Universidad Nacional y primer Presidente de la Sociedad Colombiana de Matemáticas, señala con extrema prudencia los puntos críticos en la posición de GARAVITO, evitando ser muy drástico con los errores de "nuestro sabio matemático."

CARRIZOSA VALENZUELA, bien documentado, hace un resumen de la argumentación de GARAVITO para sostener que las geometrías no euclídeas son meros acertijos y luego señala el porqué de su posición:

¿Cómo le fué posible entonces a Garavito demostrar la falta de rigor de la fórmula fundamental de la trigonometría de Lobatschewsky? Sencillamente porque razonó en el plano euclídeo: es decir, como si los geómetras lobachesquianos pretendieran demostrar las faltas de rigor de las fórmulas de la trigonometría plana euclídea razonando en sus planos, o mejor dicho, en algo así como nuestras superficies de curvatura constante negativa. No es posible, pues, discutir las fórmulas correspondientes a otras geometrías sin aceptar las condiciones especiales que presiden su establecimiento, y esas condiciones especiales imprimen a la recta propiedades

particulares muy distintas de las que se le conceden comúnmente: en la geometría de Riemann, por ejemplo, las rectas son curvas cerradas de longitud finita y en este caso es perfectamente aceptable la fórmula II, pág. 224, de los números 285 y 286 de los Anales; fórmula condenada por Garavito por no existir, según él, uniformidad recíproca entre sus elementos variables.

Varios años después en discurso presentado con ocasión del centenario del nacimiento del "sabio", CARRIZOSA [1965] deja entrever su errada posición ante las geometrías no euclídeas:

Garavito fue antes que otra cosa un analista. Recuerdo haberle oído decir alguna vez que para él la ecuación de la circunferencia le significaba más que la figura de esta curva... Sin embargo, no pretendo significar con esto que el sabio colombiano hubiese perdido el contacto con la realidad geométrica, o que careciera de la visión concreta y directa de las formas geométricas, ya que en su opúsculo sobre las geometrías no euclídeas antepone de manera extraordinariamente clara su intuición geométrica a las lucubraciones lógicas que conducen a los espacios métricos.

En 1931 en la sección editorial de los *Anales de Ingeniería* se refieren a GARAVITO afirmando que fue un "aventajadísimo matemático, genio analítico por excelencia, que no pudo formar escuela ni dejó obra perdurable aceptada por la ciencia universal."

En la década de los 1940 dos extranjeros criticarán igualmente a GARAVITO como veremos un poco más adelante.

Manuel Antonio Rueda

Entre los profesores de la Escuela de Ingeniería hay uno que merece reconocimiento especial en la historia de la matemática en Colombia en razón de su labor docente, MANUEL ANTONIO RUEDA JARA (1858-1907). Fundó dos colegios para estudios de secundaria: el Colegio Académico y el Liceo Mercantil, y la Universidad Republicana, de corta vida. Debido a su interés por la educación escribió varios textos de matemáticas usados en colegios y universidades por muchos años. La serie consta de los siguientes títulos: *Tratado de aritmética*

(1883^{1a}, 1897^{7a}), *Aritmética analítica* (1883), *Compendio de aritmética* (1884), *Lecciones de álgebra* (1887), *Tratado de aritmética analítica y comercial* (1950^{19a}), *Lecciones de trigonometría* (1887^{1a}, 1950^{19a}), *El Juego de los números* (1928^{11a}), *Las cuatro operaciones de la aritmética* (1930^{11a}), *Contabilidad mercantil* (1928^{11a}), *Curso de álgebra* (1928^{7a}).

Fue el primer director de los *Anales de Ingeniería*, y el principal defensor de la enseñanza teórica de las matemáticas en la Escuela de Ingeniería de Bogotá. Murió a los 49 años, pero su familia continuó con la publicación de sus libros, como se puede apreciar por la numerosas ediciones publicadas después de su muerte, en las cuales estudiaron varias generaciones de colombianos.

La Sociedad Colombiana de Ingenieros y los *Anales de Ingeniería*

En 1887 se creó la *Sociedad Colombiana de Ingenieros* para consolidar la creciente comunidad y con ella su órgano de difusión: los *Anales de Ingeniería*. ABELARDO RAMOS (1852-1906), su primer presidente, expresó en el acto de inauguración de la asociación lo siguiente:

[nos proponemos] *constituir en sociedad científica a los Ingenieros, Agrimensores, Arquitectos, Mecánicos, Profesores de matemáticas y Naturalistas y crear un órgano de publicidad dedicado a los estudios más elevados de las mejoras materiales del país, a la investigación científica en el vasto campo de las matemáticas puras y aplicadas así como de las ramas congéneres de las Ciencias naturales...* [RAMOS, 1887].

Los *Anales* y la *Revista médica*, fundada en 1873, fueron los principales medios de divulgación científica de Colombia desde su fundación hasta la creación de la Academia Colombiana de Ciencias y su revista en 1936. En los *Anales* se publicaron numerosos artículos sobre ciencia en general y sobre matemática en particular, siendo justamente el área de las matemáticas la segunda en número de artículos después de los que atañen a los ferrocarriles, tema de trascendental importancia en una época en que el país intentaba comunicarse internamente con el mundo para mejorar su economía. El análisis de los artículos muestra un especial interés por la matemática en los primeros treinta volúmenes de 1888 a 1920. Hay, sin embargo, una notable diferencia entre los primeros diez volúmenes, los de finales del siglo

XIX, y los de comienzos del siglo XX. En los primeros se observa una gran variedad de temas y de autores que publican desde lo más elemental, como la solución de un sencillo problema, hasta cursos por entregas de álgebra superior (RUPERTO FERREIRA), de geometría práctica (topografía) (MANUEL H. PEÑA) y de la teoría de los cuaterniones (PEDRO J. SOSA) [SÁNCHEZ, 1993].

Los famosos problemas de construcción de los griegos fueron motivo de varios artículos en los *Anales*. Los ingenieros y profesores de la Escuela, RAFAEL NIETO PARÍS (1839-1899), ENRIQUE MORALES (1857-1920) y RUPERTO FERREIRA (1845-1912) estudiaron los trabajos de colombianos que intentaron resolver los problemas y en los *Anales* aparecen los informes con los errores encontrados. Se observa un buen conocimiento de la geometría euclidiana, pero un total desconocimiento de las pruebas de la indemostrabilidad de los problemas, conocidas en Europa para esa época. Ellas requirieron del desarrollo del álgebra, específicamente de la teoría de los grupos y la teoría de Galois, temas que solo se conocieron en Colombia en la segunda mitad del siglo XX. Hay que destacar, eso sí, el intento de PEDRO J. SOSA de introducir los avances del álgebra en nuestro país en su trabajo sobre los cuaterniones. Desafortunadamente SOSA, ingeniero del Canal de Panamá, murió prematuramente en un naufragio en 1898 [SÁNCHEZ, 1994].

GARAVITO, a partir del volumen XV (1908) y hasta su muerte en 1920, se "apoderó", de cierta manera, de los artículos científicos en los *Anales de Ingeniería*, pues la mayoría llevan su firma. ¿Qué pasó con los entusiastas autores de los primeros años de la revista? No sabemos, pero lo que sí es evidente es que el número de autores disminuyó sensiblemente desde que GARAVITO apareció en la escena académica santafereña.

Los artículos publicados en los *Anales* y los manuscritos de las tesis en la Facultad de Ingeniería son sin duda la fuente documental más significativa de finales del siglo XIX y comienzos del XX para conocer el nivel de las inquietudes matemáticas de los ingenieros colombianos. Como balance de las publicaciones y los manuscritos encontrados podemos afirmar que desde el punto de vista teórico manejaron bastante bien la geometría elemental, la geometría analítica y alcanzaron los conocimientos de cálculo diferencial e integral necesarios para sus labores de ingeniería y astronomía. Pero también es claro que ignoraron lo que hoy reconocemos como matemática moderna.

La Escuela de Minas de Medellín

Durante el segundo gobierno de RAFAEL NÚÑEZ un grupo de prestigiosos dirigentes logró la expedición de la Ley 60 de 1886, por la cual se creaban dos Escuelas de Minas, una en Medellín y otra en Ibagué, argumentando la necesidad de personal calificado para la explotación de la riqueza minera, en especial del oro. Por ser Antioquia un lugar privilegiado para la minería allí debía crearse una escuela de carácter nacional. La de Ibagué nunca arrancó [SANTAMARÍA, I, 97]. Establecida en 1887, bajo la tutela de la Universidad de Antioquia, la Escuela Nacional de Minas de Medellín comenzó labores en 1888 bajo la dirección de los hermanos PEDRO NEL y TULIO OSPINA. Graduados de la Escuela de Minas de la Universidad de California en Berkeley (EE. UU. AA.), tenían en mente la formación de líderes empresariales para el desarrollo del país. El pécsum [POVEDA RAMOS, 1993, IV, 159] incluía los estudios de álgebra, geometría, inglés, francés, botánica, zoología, química inorgánica, física elemental, dibujo lineal, física superior, trigonometría rectilínea, y esférica, geometría analítica, dibujo de máquinas, mineralogía, geología, química superior, explotación de minas, metalurgia, cálculo infinitesimal, mecánica analítica, agrimensura, geodesia, higiene, economía política y religión. Observamos algunas diferencias en los cursos que no son de matemáticas con el pécsum en Bogotá. La diferencia en el currículo en matemáticas estaba en que en Medellín se la consideraba apenas como una herramienta de aplicación en la diferentes áreas de la ingeniería. El padre de los OSPINA, MANUEL OSPINA RODRÍGUEZ, al enviar a sus hijos a los Estados Unidos les había dado instrucciones muy precisas para que

No se metan con lo más alambicado de la mecánica analítica y de las matemáticas trascendentales, cargándose de preferencia a lo aplicable en la práctica y procurando adquirir los conocimientos de los que llaman ingenieros mecánicos... Hay ciencias muy atractivas, pero poco provechosas como la Botánica, la Zoología, la Astronomía, que deben dejarse a los ricos, y en el mismo caso se hallan la Literatura, la Religión y la Moral. [SAFFORD, 230]

En 1895 fue cerrada y anexada por cinco años a la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, la cual no había funcionado. Los alumnos se refugiaron en la casa materna (la Universidad de Antioquia) o en la

casa amiga (la Universidad Nacional de Bogotá). Después de la Guerra de los Mil Días, la Escuela de Minas fue restablecida en 1903 apenas por tres años. Nuevamente fue anexada a la Universidad de Antioquia hasta 1911, año en el cual por el Decreto 14 se ordenó de nuevo, por secesión, el restablecimiento de la Escuela como instituto independiente. En 1939 se incorporó definitivamente a la Universidad Nacional [SANTAMARÍA, I, 99].

Los primeros títulos de ingeniero de minas se otorgaron en 1893 a CARLOS COCK, ALONSO ROBLEDO y ANTONIO ÁLVAREZ.

Ese interés hacia lo práctico marcó la diferencia en el espíritu de las dos Escuelas de Ingeniería. En la de Medellín, por ejemplo, se enseñó por primera vez la estadística y la contabilidad a comienzos del siglo XX, como herramientas indispensables para el mejoramiento de la productividad en el trabajo. Recordamos que el objetivo de la Escuela era formar líderes empresariales. Continuator de las ideas de los OSPINA en los comienzos del siglo XX fue ALEJANDRO LÓPEZ, ingeniero civil y diplomado como profesor de matemáticas por correspondencia, quien abanderó la orientación de los ingenieros en la Escuela, propendiendo por la enseñanza de las matemáticas aplicables y no la de las "superiores". [MAYOR, 1985,17]. LÓPEZ [1917, 123] afirmaba:

Las matemáticas son un medio y no un fin. Son parte integrante de la ingeniería, pero no son la ingeniería. Cultivar las matemáticas como recreación científica, como se cultiva el arte por el arte, es burlar las esperanzas del país, es desviar la educación técnica.

Las ideas de LÓPEZ generaron una fuerte disputa entre los ingenieros matemáticos de Bogotá, liderados por GARAVITO, y los de Medellín por LÓPEZ. Recordemos que desde 1880 en Bogotá se discutía por el pécsum más adecuado para los estudios de ingeniería. Los de Bogotá defendían su posición afirmando [MAYOR, 1985]:

No es de la Escuela de Ingeniería de donde deben salir industriales de ninguna clase sino de la de Artes y Oficios, ... el cálculo y la mecánica analítica no sirven para la educación de los entendimientos inferiores ... de los obreros, que no analizan, investigan, ni raciocinan, sino que aplican directamente los resultados hallados por otros.

MAYOR dedica su trabajo *Matemáticas y subdesarrollo: la disputa sobre su enseñanza en la ingeniería colombiana de comienzos del XX* [1985] a estudiar esta disputa y concluye que actualmente nadie discute la importancia de una sólida preparación en ciencias básicas para los ingenieros pero que es también necesario darles elementos de economía y administración, como intuyó LÓPEZ, para un mejor desempeño en su trabajo y que mientras GARAVITO ha recibido numerosos homenajes como uno de nuestros más notables científicos, ALEJANDRO LÓPEZ apenas es conocido en la sociedad colombiana.

Luis de Greiff Bravo

LUIS DE GREIFF BRAVO (1908-1967), egresado de la Escuela de Minas, es el ingeniero matemático más destacado del periodo comprendido entre los años 1930 y 1950.¹² Perteneciente a la notable familia DE GREIFF, Luis nació en Barranquilla en 1908 pero muy pronto se trasladó con su familia a Medellín donde se graduó de bachiller en la Universidad de Antioquia en 1926 y cinco años más tarde obtuvo el título de ingeniero en la Escuela de Minas. Siendo aún estudiante y por recomendación del Rector, el ingeniero y pionero de la estadística en Colombia, JORGE RODRÍGUEZ LALINDE, enseñó álgebra superior y geometría analítica en la Escuela. Combinó su trabajo como ingeniero con sus cátedras de matemáticas y estadística. Murió prematuramente en 1967, pero nos dejó publicados los libros *Curso medio de geometría analítica* (1948), *Análisis trigonométrico y funciones exponencial-circulares* (1960), y *Geometría analítica* (1958). DE GREIFF perteneció a numerosas sociedades científicas nacionales e internacionales, como la *New York Academy of Sciences*, y la *Mathematical Association of America*.

La revista *Dyna*

A la Escuela de Minas ingresó en los años treinta un destacado grupo de estudiantes ansiosos de dar a conocer sus ideas. Este grupo propiciaba reuniones en un centro de reuniones al que llamaron *Talía Ospina* en honor al primer rector de la escuela. De estas reuniones nació la idea de fundar una revista estudiantil. Se escogió el nombre de *Dyna* para la publicación como símbolo de sus objetivos. El gestor de la idea fue el entonces estudiante JOAQUÍN VALLEJO ARBELÁEZ. Hoy VALLEJO es un reconocido hombre público que ha ocupado los ministerios de Hacienda y de Gobierno. El

primer número de la revista apareció en 1933; en 1936 la revista se suspende y comienza una segunda etapa en 1937 como órgano oficial de la Escuela de Minas y con cuatro secciones: Física y Matemáticas, Ingeniería, Economía y Miscelánea. Aunque ha tenido algunos tropiezos y cambios editoriales desde su fundación hoy continúa apareciendo.

Dyna simbolizó siempre la unidad indisoluble que en un verdadero centro de estudios debe existir entre profesores y alumnos.

expresó en 1965 LUIS DE GREIFF cuando fue nombrado como director.

Entre 1933 y 1950 se publicaron 24 artículos de matemáticas, en los cuales se observa como autor destacado a LUIS DE GREIFF (véase el Apéndice 4) Merece atención el artículo de JOAQUÍN VALLEJO (1912-) titulado *Geometría axiomática* en el cual el autor hace un recuento histórico de la geometría desde los *Elementos* de EUCLIDES hasta los *Fundamentos de geometría* de HILBERT, incluidas naturalmente las geometrías no euclidianas. Este artículo de 1933 contrasta con la actitud conservadora de JORGE ÁLVAREZ LLERAS, primer director de la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, cuando en 1938 insiste en publicar y defender las tesis de GARAVITO en contra de estas geometrías. Con el artículo *Números relativos*, JORGE RODRÍGUEZ (1875-1947), profesor de la Escuela de Minas, inicia una serie de artículos sobre los conceptos fundamentales de la estadística. RODRÍGUEZ terminó sus estudios en Bogotá ante el cierre de la Escuela de Minas en 1895 y obtuvo los títulos de ingeniero y profesor de matemáticas en 1896.

La Academia Colombiana de Ciencias y su revista

La llegada de los liberales al poder con OLAYA HERRERA, después de 45 años de hegemonía conservadora, marca un cambio profundo en el desarrollo de la educación y de la ciencia en Colombia. En los años treinta se reestructura la Universidad Nacional bajo el gobierno de LÓPEZ PUMAREJO, y se crea la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. La sección de Ciencias Exactas estaba compuesta por los ingenieros DARÍO ROZO, RAFAEL TORRES MARIÑO, JORGE ACOSTA VILLAVECES, JULIO CARRIZOSA y VÍCTOR CARO. Su primer director, JORGE

¹²Sobre este periodo he tomado apartes de la monografía de grado *Un aporte a la historia de la matemática en Colombia. 1930-1950* de mis estudiantes LIGIA BOHÓRQUEZ y NIDIA PÁEZ.

ÁLVAREZ LLERAS, imagino que por la falta de trabajos originales y también por la gran admiración por su maestro, comenzó a publicar de nuevo los artículos de GARAVITO en los *Anales de Ingeniería*, con algunos comentarios (véase el Apéndice 5).

De los 28 artículos aparecidos en este periodo 19 son de GARAVITO, y 4 de VÍCTOR CARO. Uno es del venezolano FRANCISCO JOSÉ DUARTE, *Sobre las geometrías no euclidianas: Notas históricas y bibliográficas* [1946], en el cual el autor se ocupa de las soluciones que han dado antiguos y modernos al postulado de Euclides, con notable acopio de datos históricos y bibliográficos. DUARTE, miembro de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela y correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias, hace una crítica a GARAVITO, ya que estima que éste intentó demostrar el quinto postulado, intento que no se espera de alguien con un buen conocimiento de la geometría. ÁLVAREZ LLERAS en nota al final del artículo defiende la posición de su maestro y afirma que en número posterior nos hará ver los errores de DUARTE, aclaración que jamás apareció en la revista como era de esperarse. Igualmente debe destacarse el artículo de FRANCISCO VERA titulado *Teoría de Conjuntos*. En él se exponen las primeras lecciones de un curso dictado en la Sociedad Colombiana de Ingenieros y que terminó siendo un libro publicado en Argentina en 1948. Es casi con seguridad la primera vez que se trató el tema en Colombia. A VERA le daremos un poco más adelante un lugar especial en este trabajo.

VÍCTOR CARO (1877-1944), el segundo autor "más productivo" de la Revista comenzó estudios en la Universidad Nacional a finales del siglo XIX pero la Universidad fue cerrada por la Guerra de los Mil Días. Al reabrirse en 1903, Caro por razones económicas no pudo reingresar y nunca se graduó de ingeniero. Sin embargo, fue profesor de matemáticas en el Gimnasio Moderno, el Gimnasio Femenino, el Colegio Mayor del Rosario y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional, de la cual fue Rector entre 1922 y 1923. Cachaco de pura cepa, hijo de MIGUEL ANTONIO CARO, fue una persona muy apreciada en los círculos científicos y culturales de Bogotá. Su labor matemática fue más bien de carácter docente. Fuera de sus artículos en la revista de la Academia publicó el libro *Los números, su historia, sus propiedades, sus mentiras y verdades* en 1937 y un apéndice sobre determinantes al texto de álgebra de MANUEL ANTONIO RUEDA.

La Escuela Normal Superior

También en este periodo 1930-1950 se crea la *Escuela Normal Superior* una de las experiencias pedagógicas más valiosas que ha tenido el país. Tenía como objetivo central preparar profesores de secundaria de la mejor calidad. Durante veinte años de existencia la Escuela preparó colombianos, muchos de los cuales fueron y otros son aún personalidades en muy distintos campos del saber. Buscó la excelencia académica a través de la investigación y la docencia.

En 1935 existían en el país tres Facultades de Educación: el Instituto Pedagógico para Señoritas y la Facultad de Ciencias de la Educación en Bogotá, y la Facultad de Educación en Tunja, las que por el Decreto 1917 de 1935 del gobierno de ALFONSO LÓPEZ PUMAREJO, se centralizarían en una sola, la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional en Bogotá. Sin embargo, un año después, por la ley 39 de 1936, esta Facultad tomó el nombre de Escuela Normal Superior y funcionó bajo la inmediata dirección del gobierno.

Se quería tener un gran centro nacional para formar "a los maestros de los maestros" haciéndolo no en el marco tradicional de la formación memorística, inductiva y escolástica, sino en la perspectiva de los conocimientos científicos más avanzados: las ciencias biológicas, físicas y exactas, por una parte que empezaban a enseñarse en las normales de Tunja y Bogotá con la pedagogía que, como disciplina independiente, aparecía en la Universidad Nacional, y con un fuerte respaldo a las ciencias sociales y humanas hasta entonces bastante ausentes de los pênsumes. Definiase así uno de los rasgos distintivos de la Normal: la interdisciplinariedad, el diálogo permanente entre las ciencias y las humanidades, la búsqueda de una formación integral, abierta a todos los horizontes del saber, sin limitaciones, llena de sana ambición [OSPINA, 1987, 6].

El primer rector de la Escuela fue AURELIO TOBÓN, pero lo fue por poco tiempo, pues, en 1937 asumió la dirección de la Escuela JOSÉ FRANCISCO SOCARRÁS, médico pionero de la psiquiatría en Colombia. Según sus palabras

Recibí la Escuela con las secciones de Pedagogía e Historia y me correspondió organizar éstas y abrir las de Filología e Idiomas, Biología y Química, y Física y Matemáticas. [SOCARRÁS, 1987, 28]

La Escuela contó con una nómina de profesores de excelente calidad. La Primera Guerra Mundial y la Guerra Española permitieron traer al país exilados de mucho prestigio como PAUL RIVET, FRANCISCO VERA, JOSÉ DE RECASENS, RUDOLF HOMMES y KURT FREUDENTHAHL.

FREUDENTHAHL se encargó de la mayoría de los cursos de matemáticas, como eran los de geometría analítica, geometría descriptiva, cálculo diferencial e integral, geometría diferencial y ecuaciones diferenciales. Los alumnos debían consultar mucho la biblioteca, guiándose por las notas de clase. FREUDENTHAHL no seguía un libro de texto, según testimonio de AGUSTÍN PÉREZ REPIZO, uno de sus alumnos. Desafortunadamente debido a la Segunda Guerra Mundial, FREUDENTHAHL se fue para los Estados Unidos. Fue reemplazado por dos de sus alumnos, que luego serían profesores en la Universidad Nacional, los ya fallecidos y recordados CAMILO RUBIANO y AGUSTÍN PÉREZ, el cual ya hemos mencionado.

En sus comienzos la Escuela daba el título de licenciado con la previa presentación de exámenes preparatorios y una tesis. Pero este requisito fue prontamente suprimido para la licenciatura y se exigió únicamente para el doctorado.

En la monografía de grado *Nacimiento y evolución de la carrera de Educación Matemática en Colombia* [1982], dirigida por AGUSTÍN PÉREZ, se lee:

*Los estudiantes que realizaban satisfactoriamente los cuatro años reglamentarios (habiendo obtenido previamente el título de Bachiller o de Instructor en grado superior) recibían el título de Licenciados en Física y Matemáticas. Después de dos años de práctica, si así lo deseaban podían adquirir el título de "Doctor" presentando una tesis que era estudiada previamente por la facultad. Los tres primeros licenciados que obtuvieron ese título fueron los doctores: Agustín Pérez Repizo con la tesis laureada *Aplicación de las ecuaciones diferenciales de primer orden* [1951], Jorge Quiroga con la tesis *Evolución sobre las teorías de la luz* [1946] y Joaquín Giraldo S. con un *Estudio sobre series infinitas* [1951].*

En el trabajo de SOCARRÁS aparece, además, ALBERTO VARGAS MUÑOZ con una tesis en matemáticas *Las*

series algebraicas como introducción al cálculo infinitesimal, con fecha 1957, fecha en la que ya había desaparecido la Escuela.

En 1952, con la llegada de LAUREANO GÓMEZ al poder, se decidió abolir el régimen mixto de la Escuela Normal y se dividió la Escuela en dos secciones: una femenina, el Instituto Pedagógico Nacional, en Bogotá, y otra masculina, la Escuela Normal Universitaria, que funcionó en Tunja.

El Instituto Pedagógico se convirtió en la Universidad Pedagógica Nacional y la Escuela Universitaria en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Francisco Vera

Figura sobresaliente en estas dos décadas es el distinguido matemático e historiador de las matemáticas FRANCISCO VERA (1888–1967), exilado español que llegó al país curiosamente también un 8 de abril pero de 1941 y quien sin duda comenzó a preparar el cambio que se dio en los años cincuenta al mostrar a nuestra comunidad académica y cultural con sus cursos y conferencias el atraso grave en que nos encontrábamos.

Nos había sido esquivo el reconstruir su paso por Colombia. Pero, en el número 45 de la revista *Lull* de la Sociedad Española de la Historia de las Ciencias y las Técnicas encontramos el artículo *Matemáticas y Exilio: La primera etapa americana de Francisco Vera*, de JOSÉ COBOS BUENO y JOSÉ M. BAQUERO MARTÍNEZ, interesante trabajo para nuestro recorrido histórico, en el cual encontramos documentado, por medio de recortes de prensa, el paso de VERA por República Dominicana en 1940, y por Bogotá entre 1941 y 1944. Dicen los autores que llegó al país contratado como profesor por la Facultad de Ingeniería pero no dejó de dar cursos y conferencias de divulgación científica, ampliamente difundidos por los medios de comunicación. El 21 de mayo comenzó el curso *La dualidad de los valores humanos en el campo de la matemática*, en el Teatro Colón. Se trató de un ciclo de 10 conferencias sobre notables personajes de la historia de las matemáticas¹³:

1. Los dos matemáticos más jóvenes de la historia (Abel y Galois)
2. Dos amigos de Napoleón (Monge y Fourier).
3. Un desafío matemático (Tartaglia y Cardano)
4. El maestro y la discípula (Weierstrass y Sonja Kowalewski).

¹³Una versión definitiva de estas conferencias apareció en Buenos Aires bajo el título *Veinte matemáticos célebres. Los libros del girasol*, Fabril Editora, 1961.

5. Celos mal reprimidos (Descartes y Fermat).
6. Luchas políticas en la matemática (Newton y Leibniz).
7. Los invariantes (Cayley y Sylvester).
8. Una revolución en geometría y un pronunciamiento en álgebra (Riemann y Boole).
9. Kantiano y antikantiano (Hamilton y Lobatchevsky).
10. El humanismo en la matemática (Maurolyco y Comandino).

Simultáneamente en la Facultad de Ingeniería dictó el curso *Principios Fundamentales de la Geometría* del cual quedó un libro del mismo nombre, publicado en la Habana en 1943. En esta obra, según COBOS y MARTÍNEZ [1999, 573], VERA pone de manifiesto que sus cursos no tenían como fin el entretenimiento sino que consciente del bajo nivel matemático de esta República tomó como empeño mejorarlo. Ese mismo año salió publicado el libro *Tratado de Geometría proyectiva*, obra que recibió diversas críticas y que me permito citar en algunos de sus apartes dado el significado que tienen:

... *El trabajo del profesor Vera es de lo más completo que hayamos conocido y que pueda dedicarse a la enseñanza metódica de doctrinas revolucionarias en un medio profesional, como el nuestro, donde necesariamente los conocimientos matemáticos que se enseñan a los ingenieros deben ser limitados y fundamentados sobre las doctrinas clásicas... Tampoco nos fuera posible aceptar el libro del profesor Vera como un cupo de doctrina definitivo en el campo de la especulación matemática, y desde puntos de vista conservadores, como son o deben ser los, los de esta Revista, sin pasar por alto las enseñanzas de Garavito, como se desprende de lo expuesto. [Academia de Ciencias, 1941]*
 ... *En un volumen de 300 páginas el profesor Vera ha expuesto con claridad y precisión rigurosamente sistematizados, la rama más joven de la ciencia de la geometría, todavía poco extendida, salvo en el estrecho campo de los especialistas. Con la abstracción y el rigor indispensable en el lenguaje matemático, pero con hábil claridad, el tratado que comentamos logra plenamente ser obra didáctica y de consulta permanente... [El Tiempo, 1942]*

Se aprecia pues como todavía en los años cuarentas se sigue defendiendo y atacando la posición de GARAVITO ante las geometrías no euclidianas. Aún hoy encontramos autores como ARBOLEDA & ANACONA en *Las geometrías no euclidianas en Colombia. La apuesta euclídea del profesor Garavito (1865-1920)* [1994] o MARTÍNEZ CHAVANS en *El pensamiento físico y epistemológico de Julio Garavito* [1986] que intentan justificar los "errores" de Garavito por razones de tipo epistemológico.

Observamos de paso que el rechazo de las GNE se inscribe en una cosmovisión de crítica a la modernidad y al progreso que ella representa. [ARBOLEDA & ANACONA, 9]
 ... *Hemos tratado de encontrar las razones que explicarían tales actitudes conservadoras de quien ha sido reconocido como facilitador de la modernidad educativa del país, de la adopción de una cultura matemática basada en paradigmas de rigor de pensamiento y quien promovió de manera irrestricta condiciones para organizar profesionalmente las actividades de investigación en el campo de las matemáticas... Tanto por razones epistemológicas como por razones pedagógicas la geometría viable en los ambientes intelectuales y escolares era la GE. De allí la actitud conservadora y refractaria que él y sus alumnos más próximos mantuvieron con relación a la difusión de las GNE en las instituciones educativas del país. [ARBOLEDA & ANACONA, 22]*

Insisto en que esa actitud conservadora y refractaria de rechazo a lo nuevo retrasó sensiblemente el desarrollo de la matemática en Colombia y no se puede justificar en el líder de la comunidad científica colombiana de la época. Ni GARAVITO, y lo que es peor, ni sus alumnos como ÁLVAREZ LLERAS, tuvieron la mente abierta para los avances de la matemática. El balance de los artículos publicados entre 1930 y 1950 en la Revista de la Academia es significativo del atraso en que se encontraban, si aceptamos que en la Academia estaba lo más granado de nuestra ciencia.

Volviendo a VERA, en 1942 impartió un ciclo de conferencias sobre la historia de la matemática, en la Sociedad Colombiana de Ingenieros, titulado *La historia de las ideas matemáticas*. El ciclo fue publicado en los *Anales de Ingeniería* y luego como libro, en 1943. Todo parece indicar, que fue justamente VERA el primero

que habló de matemáticas modernas. De agosto a octubre de 1943 VERA dictó un curso en la Universidad Nacional bajo el título *Iniciación a la matemática moderna*, estructurado en tres capítulos: Fundamentos de la matemática, Matematización de las leyes causales y El espacio y la geometría, cuyas notas aún no han sido publicadas. Además realizó un ciclo de conferencias en la Sociedad Colombiana de Ingenieros y un curso sobre la teoría de conjuntos del cual resultó el libro de ese mismo nombre publicado posteriormente en Buenos Aires [VERA, 1948].

En la introducción el autor dice:

Esta obrita es la reconstrucción aproximada del cursillo que sobre la teoría de conjuntos dicté durante los meses de septiembre y octubre de 1942 en Bogotá por honroso encargo de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, que realizaba el noble esfuerzo de organizar conferencias de matemática pura pues la que se enseñaba en la Universidad Nacional tenía más carácter concreto que abstracto, ya que entonces no existía aún en Colombia la Facultad de Ciencias creada recientemente.

Desafortunadamente la altura de Bogotá no era conveniente para la salud de su esposa y en 1944 se trasladó a Buenos Aires y junto con REY PASTOR tuvieron un papel muy importante en el desarrollo de la matemática en Argentina, país en donde murió en 1967.

La Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional (1946)

En 1946 se fundó en la Universidad Nacional la Facultad de Ciencias, que menciona VERA, con el ánimo de estimular el estudio de las ciencias entre los jóvenes. Se trataba de cursos libres a cargo de respetados catedráticos. El catálogo de 1947 ofrecía los siguientes 14 cursos: Astrofísica (BELISARIO RUIZ WILCHES), Botánica sistemática (ARMANDO DUGAND), Farmacodinamia (GONZALO MONTES), Filosofía de las ciencias (RAPHAEL CARRILLO), Física general (EDUARDO GAMBA ESCALLÓN), Físicoquímica (BERNARDO UHIBE), Fisiología humana (ALFONSO ESQUERRA), Geodesia (JOSÉ IGNACIO RUIZ), Geología (JOSÉ ROYO Y GÓMEZ), Historia general del derecho (JOSÉ MARÍA OTS CAPDEVILA), Matemáticas generales (HENRY YERLY), Prospectiva geofísica (JESÚS EMILIO RAMÍREZ), Química orgánica (LUIS EDUARDO CALDERÓN) y Radioactividad (LUIS MARÍA BORRERO). [SÁNCHEZ, 1997].

La Facultad fue promovida y dirigida por el ingeniero JULIO CARRIZOSA VALENZUELA (1895-1974), quien fuera rector de la Universidad en dos ocasiones, además de Ministro de Educación, personaje de muy grata recordación entre quienes lo conocieron. A él debemos en gran medida el cambio que se dió en los años cincuenta. Para terminar y entender el estado en que se encontraba la matemática a la llegada del profesor FEDERICI, en 1948, nada mejor que las propias palabras de CARRIZOSA en escrito sin fecha y titulado *Nuestra Facultad de Ciencias*:

El estudio de la ciencia pura y en particular de las matemáticas no atrae a nuestra juventud que nada espera al parecer de un estudio desinteresado de la ciencia por la ciencia...

Afortunadamente hoy las cosas han cambiado, gracias a todos los aquí reseñados y a muchos otros que por espacio o simple desconocimiento no hemos mencionado. Cada día más jóvenes desean estudiar matemáticas en alguno de los ya numerosos programas que existen en el país.

Bibliografía

1. ALBIS, V. & SORIANO, L. I. (1977) *The work of Indalecio Liévano in the foundation of the real number system*. *Historia Mathematica*, **3**, 161-166.
2. ALBIS, V. (1997) *Vicisitudes del postulado euclídeo en Colombia*. *Rev. Acad. Colom. Cienc.* **21** (80), 281-293.
3. ALBIS, V. & SÁNCHEZ, C. H. (1988) *Descripción del Curso de Cálculo de Aimé Bergeron en el Colegio Militar*. *Rev. Acad. Colom. Cienc.* **23**(86), 73-79.
4. ALBIS, V. (1998) *A falta de una iconografía de Aimé Bergeron*. *Rev. Acad. Ci. Ex. Fi. Nat.* **22**, 587-590.
5. ARBOLEDA, L. C. & ANACONA, M. P. (1994) *Las geometrías no euclidianas en Colombia. La apuesta euclídiana del profesor Julio Garavito (1865-1920)*. *Quipu*, **11** (1), 7-24.
6. ARIAS DE GREIFF, JORGE (1993) *Historia de la astronomía en Colombia*. Bogotá, Acad. Colom. Cienc. 1993.
7. CARRIZOSA VALENZUELA, J. (1921) *Las geometrías no euclídeas y las objeciones de Garavito*. Universidad. (19, 20, 21).
8. COBOS BUENO, J. M. & PECCELLIN LANCHARRON, M. (1999) *Matemáticas y exilio: la primera etapa americana de Francisco Vera*. *Llull* **22** (45), 569-588.

9. ESPINOSA, G. (1998), Lino de Pombo. *El sabio de las siete esferas.*, Bogotá, Colciencias - Panamericana.
10. GARAVITO, J. (1891) *Método general para el estudio de las armaduras triangulares, aplicado al estudio de las armaduras Warrang.* Anales de Ingeniería. **4**, 277-287.
11. GARAVITO, J. (1891) *El Juego de la Aguja.* Anales de Ingeniería. **4**, 347-351.
12. GARAVITO, J. (1897) *Los números inconmensurables.* Anales de Ingeniería. **9**, 339-346.
13. GARAVITO, J. (1909) *Juicio crítico a una memoria matemática.* **16**, 220-234.
14. GARAVITO, J. (1916) *Nota sobre la fórmula fundamental de la trigonometría plana no-euclídea en la geometría hiperbólica.* Anales de Ingeniería. **24**, 224-234, 353-362, 465-469.
15. GARAVITO, J. (1917) *¿Bancarrota de la Ciencia?*, Anales de Ingeniería. **25**, 101-107, 203-215.
16. GUERRA AZUOLA, RAMÓN (1897) *Don Lino de Pombo. Tributo en su centenario.* Anales de Ingeniería. **9** (101-102), 1-18.
17. HORVÁTH, J. (1993) *Recuerdos de mis años en Bogotá.* Lecturas Matemáticas. **14**, 119-128.
18. LIEVANO, I. (1856) *Tratado de Aritmética.*
19. LIÉVANO, I. (1871) *Investigaciones Científicas.* Foción Mantilla, Editor, Bogotá.
20. LIÉVANO, I. (1875) *Tratado de Álgebra.* Imprenta de Medardo Rivas, Bogotá.
21. MARTÍNEZ CHAVANZ, REGINO (1986) *El pensamiento físico y epistemológico de Julio Garavito.* Naturaleza. **4**, 15-25.
22. MAYOR, A. (1985) *Matemática y subdesarrollo: La disputa sobre su enseñanza en la ingeniería colombiana de principios del siglo XX.* Revista de Extensión Cultural. Universidad Nacional, Medellín.
23. OSPINA, J. M. (1984) *La Escuela Normal Superior: círculo que se cierra.* Boletín Cultural y Bibliográfico. Banco de la República. **21** (2), 3-16.
24. PEREIRA DA SILVA, C. (1991) *A. Comte: Suas influências sobre a Matemática Brasileira.* Bol. Soc. Mat. (2a. Série) **12-13**, (1-2), 47-66.
25. PEREIRA DA SILVA, C. (1992) *Otto de Alencar Silva: Um pioneiro da pesquisa matemática no Brasil.* Revista da SBHC. **7**, 31-40.
26. POVEDA, G. (1993) *Ingeniería e Historia de las Técnicas I. En: Historia Social de las Ciencias en Colombia.* Volumen 4, 1a. Edición. Bogotá.
27. RUEDA, M. A. (1888), *Editorial.* Anales de Ingeniería. **1**, 96.
28. RUEDA CARDOZO (1982), *La profesionalización de la ingeniería en Colombia.* Trabajo de grado. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
29. SAFFORD, F. (1989) *El ideal de lo práctico.* 1a. Edición. Bogotá, Universidad Nacional, El Ancora Editores.
30. SÁNCHEZ, C. H. (1993) *Las matemáticas en los Anales de Ingeniería.* Mathesis. **9**, 105-124.
31. SÁNCHEZ, C. H. (1994) *Los tres famosos problemas de la geometría griega y su historia en Colombia.* Bogotá, Dpto. de Mat. y Est. Universidad Nacional.
32. SÁNCHEZ, C. H. (1997) *La creación del Departamento de Matemáticas y Estadística de la Universidad Nacional.* Boletín de Matemáticas. Nueva Serie. **4**, 57-71.
33. SÁNCHEZ, C. H. (1998) *Forjadores del desarrollo de las matemáticas en Colombia. Una charla con Murio Laserna.* Lecturas Matemáticas. **19**, 53-61.
34. SÁNCHEZ, C. H. (1999) *Matemáticas en Colombia en el Siglo XIX.* Lull. **22**, 687-705.
35. SANTAMARÍA, P. (1994) *Origen, desarrollo y realizaciones de la Escuela de Minas de Medellín.* 2 Tomos. Ediciones Diké Ltda. Medellín.
36. SOCARRÁS, J. F. (1987) *Facultades de Educación y Escuela Normal Superior. Su historia y aporte científico, humanístico y educativo.* La Rana y el Aguila. U.P.T.C. Tunja.
37. SOSA P. J. (1889-1890), *Teoría de los cuaterniones.* Anales de Ingeniería. **3**, 253-258, **4**, 116-128, 150-159, 211-223, 246-255, 312-316, 335-340, 364-370, **5**, 5-11.
38. TAKAHASHI, A. (1990) *Estudios sobre el estado de desarrollo y de inserción social de las disciplinas y áreas el conocimiento.* Matemáticas. Misión de Ciencia y Tecnología. **3**, Tomo 1, 77-216.
39. TRIANA, M. (1887) *Consideraciones sobre reorganización de la Escuela de Ingeniería Civil.* Anales de Instrucción Pública. **11**, 153-157.
40. TRIANA, M. (1887) *Estudio de la Ingeniería, Consideraciones sobre el plan de estudios.* Anales de Ingeniería **1**, 13-15, 43-45.
41. VELAMAZÁN, M. A. (1994) *La Enseñanza de las Matemáticas en las Academias Españolas del siglo XIX.* Cuadernos de Historia de la Ciencia. Universidad de Zaragoza. (7).
42. VILLEGAS, G. (1992) *Sobre el curso de cálculo diferencial e integral "à la Cauchy" de Julio Garavito-1912.* Tesis de Maestría. Universidad del Valle, Cali.

Apéndice 1.

Libros de matemáticas adquiridos por el Colejio Militar

1.	PUISSANT,	<i>Curso de matemáticas</i> (105)
2.	HACHETTE,	<i>Géométrie descriptive</i>
3.	HACHETTE,	<i>Développements de géométrie</i>
4.	SALNEUVE,	<i>Cours de topographie</i>
5.	PAGE,	<i>Compléments de géométrie analytique</i>
6.	POISSON,	<i>Traité de mécanique</i>
7.	VALLEJO,	<i>Tratado de matemáticas</i> (5 vols.)
8.	MONGE,	<i>Géométrie descriptive</i>
9.	VALLE,	<i>Géométrie descriptive</i>
10.	CALLET,	<i>Tablas de logaritmos</i>
11.	PUISSANT,	<i>Traité de géodesie</i>
12.	SIMONOFF,	<i>Essai sur le calcul integral</i>
13.	ZORRAQUÍN,	<i>Geometría descriptiva</i>
14.	GARCÍA,	<i>Matemáticas</i>
15.	LACROIX,	<i>Mathématiques</i> (10 vols.)
16.	FRANCOEUR,	<i>Méchanique élémentaire</i>
17.	FRANCOEUR,	<i>Mathématiques pures</i>
18.	FRANCOEUR,	<i>Dessin lineair</i>
19.	BOUCHARLAT,	<i>Calcul différentiel</i>
20.	EUCLIDES,	<i>Éléments de géométrie</i>
21.	LAPLACE,	<i>Méchanique celeste</i> (5 vols.)
22.	LACROIX,	<i>Calcul différentiel</i> (3 vols.)

ELEMENTOS

DE

ARITMÉTICA

INTEGRAL, DECIMAL I COMERCIAL;

Escrito según el método matemático,
para el uso de la juventud granadina,

COY

NOTICIA I TABLAS

DE TODAS LAS MEDIDAS CONOCIDAS

EN

FRANCIA, INGLATERRA I ESPAÑA.

Por su autor don JUAN...

BOGOTÁ

SEMPEREA POR VICENTE DÍAZO,
año de 1842.

—107—

2. $\sqrt[4]{52} = \frac{\log 52}{2} = \frac{1,720138}{2} = 0,860069$ que con 3 de exactitud
corresponde a 2726; luego $\sqrt[4]{52} = 2,726$.

3. $\sqrt[4]{5726} = \frac{\log 5726}{4} = \frac{0,758183}{4} = 0,189546$ que con 3 de exactitud
de exactitud corresponde a 1199; luego $\sqrt[4]{5726} = 11,99$ próximamente.

Comente aritmética de un número es la diferencia que se
halla restándole de la unidad seguida de tantos ceros como cifras
tenga dicho número. Por medio de los complementos aritméticos se
convierte la operación de restar un número de otro, en sumarlo, con
tal que de la suma se quiten de la primera cifra hacia adelante tantas
veces como se agregaron; esta operación es equivalente a la resta
mismo siempre cuando se haya de restar un logaritmo de otro es decir
que se ha de sumar con el logaritmo minuendo el complemento arit-
mético del logaritmo sustraendo; y para la suma conviene re-
emplazar el logaritmo sustraendo por su característico con de-
cimas, y lo restante será el logaritmo del cociente que se busca. También sirve el uso
de los complementos aritméticos para hacer positivos los logaritmos de
los quebrados; así si se agrega al logaritmo de 11, el complemento
del logaritmo de 91 se tendrá 0,882053 logaritmo positivo, que con-
tiene exactamente de la fracción $\frac{11}{91}$.

FIN.

Apéndice 2A. Pensum del Colegio Militar (1847)		
Materias		
Año	Teóricas	Teórico prácticas
1o.	Aritmética Álgebra Geometría - Especulativa - Práctica Trigonometría - Rectilínea - Esférica	Dibujo 1 - Delineación - Lavado de planos - Cortes - Vistas geométricas - Modelos geométricos
2o.	Geometría analítica Secciones cónicas Geometría descriptiva Principios de óptica aplicada a: - Teoría de sombras - Perspectiva	Dibujo 2 - Lineal - A la aguada, en representación de: - Accidente del terreno con - Pluma - Pincel - Topografía
3o.	Cálculo diferencial Cálculo integral Mecánica Maquinaria Cosmografía Caminos Puentes Calzadas Arquitectura civil	Dibujo 3 - Problemas gráficos de Mecánica - Maquinaria - Cosmografía - Arquitectónico
4o.	Construcciones civiles Cálculo Trabajos escritos	Operaciones prácticas sobre: - Maquinaria - Construcciones civiles - Agrimensura - Topografía - Caminos

Apéndice 2B. Universidad Nacional (1867)		
Materias		
Año	Teóricas	Teórico prácticas
1o.	Aritmética Álgebra Geometría Trigonometría - Rectilínea - Esférica	Dibujo 1 - Lineal
2o.	Geometría analítica Geometría práctica Geometría descriptiva con aplicación a: - Teoría de sombras - Perspectiva - Topografía	Dibujo 2 - Topográfico
3o.	Cálculo diferencial Cálculo integral Mecánica	Dibujo 3 - Arquitectónico - Problemas gráficos de Mecánica
4o.	Geodesia Maquinaria Maquinaria	
5o.	Arquitectura Construcciones civiles Caminos Puentes Calzadas Trabajos hidráulicos	

Apéndice 3. Las tesis del profesorado de matemáticas. 1891-1903

1. JULIO GARAVITO ARMERO,	1891,	<i>Forma de la sección meridiana de un manómetro de aire comprimido para que la graduación sea uniforme.</i> 30 páginas.
2. GAVINO S. FAJARDO,	1891,	<i>Establecimiento de la ecuación general de la línea recta. Estudio relativo de las curvas planas.</i> 43 páginas.
3. ANANÍAS ACOSTA,	1891,	<i>Determinación analítica de los centros de gravedad de bóvedas comunes y presas de embalse.</i> 21 páginas.
4. JUSTINO MARCO S.,	1892,	<i>Resolución de un problema propuesto por el Sr. H. Sonnet en su Geometría Analítica, pág. 313, N. 347.</i> 36 páginas.
5. LIBORIO CORRAL,	1892,	<i>Resolución de un problema de la Geometría Analítica de Sonnet y Frontera.</i> 36 páginas.
6. OLEGARIO CORRAL,	1892,	<i>Problema número 10, página 251, de la Geometría Analítica de Sonnet y Frontera.</i> 38 páginas.
7. FRANCISCO J. CASAS,	1892,	<i>Teoría matemática de la elasticidad.</i> 48 páginas.
8. SERGIO CONVERS,	1892,	<i>Estudio de los aparatos hidro-centrífugos del Sr. Bazin.</i> 18 páginas.
9. TOMÁS ARTURO ACEVEDO,	1893,	<i>Cuadros gráficos para la resolución de las ecuaciones de segundo y tercer grado.</i> 32 páginas.
10. SIGNECIO VARGAS,	1893,	<i>Teoría del péndulo.</i> 88 páginas.
11. VALENTÍN OBANDO,	1894,	<i>Problema de geometría.</i> 26 páginas.
12. ROGERIO MÉNDEZ,	1894,	<i>Determinación de la órbita del cometa Brooks [Método de Olbers].</i> 18 páginas.
13. JORGE PÁEZ G.,	1895,	<i>Teorema de D'Alembert.</i> 60 páginas.
14. JACINTO CAYCEDO,	1895,	<i>Puente colgante sobre el río Muzero en el Camino de Occidente. Departamento de Boyacá.</i> 60 páginas.
15. JOAQUÍN ANDRADE F.,	1895,	<i>Teoría mecánica del volante.</i> 19 páginas.
16. AURELIO ESGUERRA,	1895,	<i>Estudio sobre las series.</i> 20 páginas.
17. CARLOS SINISTERRA,	1895,	<i>Determinación de los siguientes datos relativos a la ciudad de Bogotá.</i> 14 páginas.
18. LEONIDAS CARRILLO,	1895,	<i>Leyes de Kepler.</i> 35 páginas.
19. JULIO B. MATIZ,	1895,	<i>Teoría mecánica del torno.</i> 13 páginas.
20. RAMÓN J. CARDONA,	1896,	<i>Cálculo de un eclipse de sol. Método de Bessel.</i> ? páginas.
21. JULIO C. MURZI,	1896,	<i>Curva indicatriz.</i> 35 páginas.
22. JORGE VÉRGARA E.,	1896,	<i>Precesión de los equinoccios.</i> 15 páginas.
23. JORGE RODRÍGUEZ,	1896,	<i>Problemas relativos al péndulo compuesto.</i> 12 páginas.
24. ENRIQUE OLARTE,	1896,	<i>Problemas de cálculo. I. Hallar las evolutas de la elipse, la hipérbola y la parábola, buscando las involutas de las normales a dichas curvas. II. Encontrar una curva que corte bajo un ángulo de 45 a todas las rectas que pasen por el origen.</i> 12 páginas.
25. JULIÁN ARANGO,	1897,	<i>Celerimensura.</i> 20 páginas.
26. EMILIO SARDI,	1897,	<i>Empleo de un solo plano de proyección en la resolución de los problemas gráficos valiéndose del sistema de acotaciones.</i> 23 páginas.
27. CARLOS RENGIFO O.,	1898,	<i>Centros de gravedad.</i> 23 páginas.
28. ROBERTO DE MENDOZA,	1898,	<i>Importancia de la teoría de los máximos y mínimos en la carrera de ingeniería.</i> 15 páginas.
29. ALEJANDRO CAICEDO,	1898,	<i>Ecuaciones simultáneas.</i> 24 páginas.
30. CARLOS MENESES,	1898,	<i>Problemas sobre líneas móviles.</i> 15 páginas.
31. HAZAEL C. PRADO,	1898,	<i>Problemas sobre tangentes y normales a la parábola resueltos por medio del cálculo diferencial.</i> 12 páginas.
32. ALFREDO ORTEGA,	1898,	<i>Problema.</i> 9 páginas.
33. ROBERTO RODRÍGUEZ ROZO,	1898,	<i>Atracción.</i> 19 páginas.
34. JOSÉ MIGUEL PEÑUELA,	1898,	<i>Integrales eulerianas.</i> 11 páginas.
35. DOMINGO SALAZAR,	1898,	<i>Teoría de las ecuaciones trigonométricas.</i> 15 páginas.
36. BELISARIO RUIZ WILCHES,	1902,	<i>El planímetro.</i> 11 páginas.

Apéndice 4				
Contenido Matemático de la Revista DYNA 1933-1950*				
Año	Vol.	No.	Título	Autor
1933	1	1	Trabajos originales	No aparece
1933	1	1	Un problema propuesto de geometría	No aparece
1933	1	2	Solución a un problema	No aparece
1933	1	3	Solución a un problema	Joaquín Vallejo
1933	1	4	Industrialización y cultura	Luis de Greiff
1933	1	5	Dos páginas más	Luis de Greiff
1933	1	5	Geometría axiomática	Joaquín Vallejo
1935	1	5-10	Números relativos	Jorge Rodríguez
1938	1	4-6	La intuición y la lógica matemática	Henri Poincaré
1938	1	4-5	Notas	Carlos Gartner de la Cuesta
1938	2	7	Apuntes sobre el cálculo infinitesimal	Alberto Huyke
1940	2	3	Las ecuaciones del arco empotrado referidos al centro elástico	Luis de Greiff
1944	12	50	Solución a un problema	Diferentes autores
1945	12	53	Solución a un problema	Alejandro Delgado
1947	14	58	Breves apuntes sobre las funciones hiperbólicas y la línea central de un arco empotrado	Luis de Greiff
1947	14	58	Construcción gráfica de una parábola que pase por tres puntos	Carlos Donneys
1948	15	60	El diferencialismo en la regla del cálculo	Lucio Chiquito
1949	16	61	Raíz cuadrada	John Arango
1949	16	63	El valor de la hipótesis en matemáticas	Juan Zapata
1950	16	64	La cuadratura del círculo	Juan Zapata
1950	16	65	La igualdad el juicio matemático	Juan C. Heredia
1950	17	65	Pequeña memoria sobre el círculo de nueve puntos	Luis de Greiff
1950	17	65	Resolución numérica de ecuaciones algebraicas trascendentales	Juan Santamaría

* Los números de la revista Dyna correspondientes al período 1933-1950 contienen 24 artículos de matemáticas. Se aprecia que los artículos incluyen desde un breve problema planteado, generalmente de geometría, hasta lecciones publicadas por entregas.

Apéndice 5
Artículos de matemáticas aparecidos en la
Revista de la Academia Colombiana de Ciencias (1936-1950)

JULIO GARAVITO, <i>Teoría de la aberración de la luz</i>	No. 1 (1936).
VÍCTOR E. CARO, <i>Notas matemáticas. Consecuencias de un teorema de Descartes.</i>	No. 1 (1936).
JULIO GARAVITO, <i>Notas sobre óptica matemática</i>	No. 2 (1937).
VÍCTOR E. CARO, <i>Un teorema de Fermat, sin consecuencias</i>	No. 2 (1937).
JULIO GARAVITO, <i>La paradoja de la óptica matemática. Teoría de la observación y de la refracción de la luz</i>	No. 3 (1937).
JULIO GARAVITO, <i>Óptica Astronómica. Teoría de la refracción y de la aberración anual.</i>	No. 4 (1937).
VÍCTOR E. CARO, <i>El cero y el infinito: el número e y el número π</i>	No. 4 (1937).
JULIO GARAVITO, <i>Nota sobre la dinámica de los electrones</i>	No. 5 (1938).
JULIO GARAVITO, <i>(Principios de la dinámica de los fluidos)</i>	No. 7 (1938).
JULIO GARAVITO, <i>Nota sobre las geometrías planas no euclídeas, y nota sobre balística exterior</i>	No. 8 (1938).
JORGE ACOSTA VILLAVECES, <i>Estudio de dos ecuaciones trascendentes que se presentan en el cálculo de empréstitos</i>	No. 5 (1938).
JULIO GARAVITO, <i>Nota sobre la fórmula fundamental de la trigonometría plana no euclídea en la geometría hiperbólica</i>	No. 9-10 (1939).
ALBERTO BORDA TANCO, <i>Los observatorios y la aplicación de las matemáticas</i>	No. 11 (1940).
JULIO GARAVITO, <i>Cuestiones referentes a la Astronomía. La ley newtoniana es general</i>	No. 11 (1940).
JULIO GARAVITO, <i>Los números inconmensurables</i>	No. 14 (1941).
FRANCISCO VERA, <i>El tertium non datur en la matemática actual</i>	No. 14 (1941).
VÍCTOR E. CARO, <i>Curiosidades matemáticas. Una fórmula de álgebra puesta en verso</i>	No. 15-16 (1941).
JULIO GARAVITO, <i>Entretenimiento matemáticos. Demostración del juego de la aguja</i>	No. 15-16 (1941).
JULIO GARAVITO, <i>Determinación de la forma que debe tener la sección meridiana de un manómetro de aire comprimido para que graduación sea uniforme</i>	No. 15-16 (1941).
JULIO GARAVITO, <i>Teoría del anemómetro de casquetes esféricos</i>	No. 17 (1942).
JULIO GARAVITO, <i>Elementos de algunas funciones trascendentes enteras</i>	No. 17 (1942).
FRANCISCO VERA, <i>Teoría de conjuntos</i>	No. 18 (1942).
JULIO GARAVITO, <i>Entretenimientos matemáticos. Oscilación de una barra prismática sobre un cilindro recto de base circular</i>	No. 19 (1943).
JULIO GARAVITO, <i>Mecánica celeste. Movimiento elíptico (Método de Jacobi)</i>	No. 19 (1943).
JULIO GARAVITO, <i>Nuevos conceptos económicos: (Causa principal de la guerra de 1914): Evolución de la distribución de la riqueza</i>	No. 24 (1945-46).
JORGE ACOSTA VILLAVECES, <i>Respuestas al "Boletín Matemático" de Buenos Aires (Argentina)</i>	No. 24 (1945-46).
JULIO GARAVITO, <i>Fórmulas definitivas para el cálculo del movimiento de la luna por el método de Hill Brown, y con la notación usada por Henri Poincaré en el tomo III de su curso de mecánica celeste</i>	No. 24 (1945-1946).
JULIO GARAVITO, <i>Cálculo de la efemerides del cometa Halley</i>	25-26 (1946).
FRANCISCO J. DUARTE, <i>Sobre las geometrías no euclidianas: Notas históricas y bibliográficas</i>	No. 25-26 (1946).
JULIO ENRIQUE BLANCO, <i>Kant y la matemática física</i>	No. 25-26 (1946).
JULIO GARAVITO & JORGE ÁLVAREZ, <i>Informe de la Comisión observadora del eclipse total de sol del 3 de febrero de 1916</i>	No. 27 (1947).
LUIS ALBERTO GONZÁLEZ, <i>Una solución al problema de la trisección del ángulo</i>	No. 28 (1950).
ÉMILE KRAFT, <i>Essais et recherches sur la théorie de nombres</i>	No. 28 (1950).
HERNANDO LLERAS FRANCO, <i>El postulado de Euclides</i>	No. 29 (1950).

ALGUNOS PROBLEMAS DE PRESERVACIÓN LINEAL SOBRE LOS ESPACIOS DE MATRICES SIMÉTRICAS, ANTISIMÉTRICAS Y HERMITIANAS

por

Humberto Sarría Zapata¹

Resumen

Sarría Zapata H.: Algunos problemas de preservación lineal sobre espacios de matrices simétricas, antisimétricas y hermitianas. Acad. Colomb. Cienc. **26**(99): 261-270, 2002. ISSN 0370-3908.

El teorema central de este artículo caracteriza las transformaciones lineales que preservan simultáneamente matrices simétricas y antisimétricas complejas. También, damos algunas caracterizaciones para las transformaciones ortogonales complejas y unitarias que preservan matrices simétricas y hermitianas respectivamente.

Palabras clave: Matrices simétricas, antisimétricas y hermitianas, problemas de preservación lineal.

Abstract

The central theorem in this paper characterizes linear transformations preserving both symmetric and skewsymmetric complex-matrices. We also give some characterizations for complex orthogonal and unitary transformations preserving symmetric or Hermitian matrices.

Key words: Symmetric matrices, skewsymmetric matrices, Hermitian matrices, linear preserver problems.

¹ Departamento de Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Financiado por la Universidad Nacional de Colombia. E-mail: hsarriaz@matematicas.unal.edu.co. AMS Subject Classification: 15A57; 15A27; 15A18.

1. Introducción

Los problemas de preservación lineal, hacen parte de un área de investigación de la teoría de matrices y operadores. En esta área, se estudian las caracterizaciones de los operadores lineales definidos sobre un espacio vectorial de matrices, que preservan ciertas propiedades, subconjuntos o relaciones. En [1] y [2], Chi-Kwong Li, et al. hacen una excelente introducción al tema, e incluyen algunos problemas abiertos.

Fröbenius, en 1887, inicia el estudio de los problemas de preservación lineal, caracterizando los operadores lineales $\phi: \mathcal{M}_n(C) \rightarrow \mathcal{M}_n(C)$ (en donde $\mathcal{M}_n(C)$ representa el espacio de las matrices con entradas complejas $n \times n$) que preservan el determinante, y adicionalmente caracteriza aquellos que preservan el espectro. Una versión actualizada de sus resultados puede encontrarse en [3]. Una caracterización de los operadores lineales que preservan matrices hermitianas, la da D.Hill en [4]. En cuanto a los operadores lineales que preservan matrices normales, M.Kunicki y D.Hill, en [5], hacen un estudio completo de este problema.

En el presente artículo se plantean algunas caracterizaciones interesantes para los operadores lineales que preservan simultáneamente matrices simétricas y anti-simétricas complejas. Además, se suministra un método práctico y sencillo, que permite, en términos de la matriz de representación del operador en la base canónica, determinar si éste efectúa o no la preservación. Adicionalmente, consideramos los operadores lineales que preservan la estructura espectral y probamos que estos son ortogonales complejos (respectivamente, unitarios) si, y solo si, preservan matrices simétricas complejas (respectivamente, hermitianas).

2. Preliminares y notaciones

A lo largo de este artículo, $S_n(C)$ denotará el subespacio de las matrices simétricas de $\mathcal{M}_n(C)$ con elementos complejos. La *traspuesta* de una matriz $A \in \mathcal{M}_n(C)$ la denotamos por A^t y su *adjunta hermitiana* por A^* . \bar{A} denotará la matriz cuyas componentes son los conjugados de las componentes de A . El *producto de Kronecker* de un par de matrices $A, B \in \mathcal{M}_n(C)$ es la matriz, que denotaremos por $A \otimes B \in \mathcal{M}_{n^2}(C)$, tal que

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} a_{11}B & a_{12}B & \cdots & a_{1n}B \\ a_{21}B & a_{22}B & \cdots & a_{2n}B \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}B & a_{n2}B & \cdots & a_{nn}B \end{bmatrix}$$

Es importante tener en cuenta que en todo el artículo se usará el mismo símbolo para representar tanto a un operador lineal como a su correspondiente matriz de representación en la base canónica.

Definición 2.1. A cada matriz $A = [a_{ij}] \in \mathcal{M}_n(C)$, le asociamos el vector $\text{vec}(A) \in C^{n^2}$ definido por

$$\text{vec}(A) := [a_{11}, \dots, a_{n1}, a_{12}, \dots, a_{n2}, \dots, a_{1n}, \dots, a_{nn}]^t.$$

Usaremos también la siguiente extensión del producto interior euclidiano

Definición 2.2. Sea $\langle \cdot, \cdot \rangle: \mathcal{M}_n(C) \times \mathcal{M}_n(C) \rightarrow C$ la función determinada por la ecuación

$$\langle A, B \rangle = \text{vec}(B)^* \text{vec}(A)$$

donde $A, B \in \mathcal{M}_n(C)$.

Definición 2.3. Diremos que una colección de n^2 autovectores para un operador lineal

$$\phi: \mathcal{M}_n(C) \rightarrow \mathcal{M}_n(C)$$

es completa, si los autovectores que conforman la colección son linealmente independientes.

Algunas relaciones entre el producto interior y la traza que serán útiles posteriormente, se plantean en la siguiente proposición. La prueba es consecuencia inmediata de la definición de producto interior dada arriba.

Proposición 2.1. Para todo $A, B \in \mathcal{M}_n(C)$,

$$\langle A, B \rangle = \text{Tr}(B^*A) = \text{Tr}(A^t\bar{B}).$$

Proposición 2.2. $S_n(C)^\perp$ coincide con el espacio de las matrices antisimétricas.

Prueba. Denotemos por \hat{S} el subespacio de las matrices antisimétricas. Sean $A \in S_n(C)$ y $B \in \hat{S}$. Nótese que por ser B antisimétrica $B = \frac{B - B^t}{2}$. Entonces,

$$\begin{aligned} \text{Tr}(B^*A) &= \text{Tr}\left(\frac{B^* - \bar{B}^t}{2}A\right) = \frac{1}{2}\left(\text{Tr}(B^*A) - \text{Tr}(\bar{B}A)\right) \\ &= \frac{1}{2}\left(\text{Tr}(A^t\bar{B}) - \text{Tr}((A\bar{B}))\right) \\ &= \frac{1}{2}\left(\text{Tr}(A\bar{B}) - \text{Tr}(A\bar{B})\right) = 0. \end{aligned}$$

Concluimos de la última igualdad que $\hat{S} \subseteq S_n^\perp$. Sea $B \in S_n^\perp$, entonces $\text{Tr}(B^*A) = 0$ para todo $A \in S_n$. Sean, $B = (b_{ij})_{n \times n}$, $r, s \in N$ tales que $1 \leq r, s \leq n$

con $r \neq s$ y $\hat{A} = (\hat{a}_{i,j})_{n \times n}$, tal que $\hat{a}_{r,s} = \hat{a}_{s,r} = 1$ y $\hat{a}_{i,j} = 0$ para $(i,j) \neq (r,s)$ y $(i,j) \neq (s,r)$. Entonces, por hipótesis, $\text{Tr}(B^* \hat{A}) = 0$. En consecuencia, $b_{r,s} + b_{s,r} = 0$, es decir $b_{r,s} = -b_{s,r}$. Ahora definamos los elementos de \hat{A} de la siguiente manera, tomemos $\hat{a}_{rr} = 1$ y $\hat{a}_{i,j} = 0$ para $(i,j) \neq (r,r)$. Por hipótesis, tenemos $\text{Tr}(B^* \hat{A}) = 0$, por lo tanto, $b_{rr} = 0$. De lo anterior, podemos concluir que $b_{i,j} = -b_{j,i}$, para $i \neq j$ y que $b_{ii} = 0$ para todo $1 \leq i, j \leq n$. Esto significa que la matriz B es antisimétrica. \diamond

El siguiente resultado será útil posteriormente, y su prueba es inmediata.

Proposición 2.3. *Todo autovector del operador de trasposición T es o una matriz simétrica o una matriz antisimétrica.*

3. Caracterizaciones

Teorema 3.1 *Sea $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ una transformación lineal. Entonces, ϕ preserva simetría y antisimetría si y sólo si $\phi T = T\phi$, donde T denota el operador de trasposición.*

Prueba. Sea $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ una transformación lineal que preserva simetría y antisimetría, y sea $X \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$. Sabemos entonces que existen $X_s \in S_n(\mathbb{C})$ y $X_a \in S_n(\mathbb{C})^\perp$ tales que $X = X_s + X_a$. Por lo tanto,

$$\begin{aligned} \phi T(X) &= \phi T(X_s + X_a) = \phi T(X_s) + \phi T(X_a) \\ &= \phi(X_s) + \phi(-X_a) = \phi(X_s) - \phi(X_a) \\ &= T\phi(X_s) + T\phi(X_a) = T\phi(X_s + X_a) \\ &= T\phi(X). \end{aligned}$$

Supongamos ahora que $\phi T = T\phi$. Si X es una matriz simétrica, entonces

$$\phi(X) = \phi T(X) = T\phi(X).$$

Concluimos de lo anterior que ϕ preserva simetría. Si X es una matriz antisimétrica, entonces

$$\phi(X) = \phi(-T(X)) = -T\phi(X).$$

Concluimos de lo anterior que ϕ preserva antisimetría. \diamond

Las siguientes dos proposiciones pueden encontrarse en [6, pág. 103] y en [7, pág. 215], respectivamente, y serán útiles en la caracterización de los operadores normales que preservan matrices simétricas.

Proposición 3.1. *Sean A y B dos matrices normales de orden n . Entonces, $AB = BA$ si, y sólo si, A y B tienen una base común de autovectores ortonormales.*

Proposición 3.2. *Sean, V un espacio vectorial de dimensión finita con producto interior, y $\phi : V \rightarrow V$ un operador lineal. Entonces, ϕ es normal si, y sólo si para todo subespacio invariante $W \subseteq V$ de ϕ , W^\perp es también un subespacio invariante de ϕ .*

Teorema 3.2. *Sea $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ un operador normal. Entonces las siguientes afirmaciones son equivalentes:*

- ϕ preserva simetría.
- ϕ preserva antisimetría.
- Existe una base ortonormal de autovectores de ϕ , conformada por matrices simétricas o antisimétricas.

Prueba. La equivalencia entre (a) y (b) sigue directamente de las proposiciones 2.2 y 3.2. Para probar que (a) implica (c), supongamos que ϕ preserva simetría. Entonces por el Teorema 3.1, ϕ conmuta con el operador de trasposición T . De aquí y las proposiciones 2.3 y 3.1, existe un conjunto ortonormal con n^2 autovectores de ϕ linealmente independientes, conformado por matrices simétricas o antisimétricas. Probemos ahora que (c) implica (a). Supongamos que $\{V_1, V_2, \dots, V_{n^2}\}$ es un conjunto ortonormal de n^2 autovectores de ϕ , conformado por matrices que son simétricas o antisimétricas. Por el teorema espectral

$$\phi = \sum_{i=1}^{n^2} \lambda_i \text{vec}(V_i) \text{vec}(V_i)^*,$$

donde λ_i es el autovalor correspondiente al autovector V_i . Sea S una matriz simétrica. Entonces,

$$\phi(S) = \sum_{i=1}^{n^2} \lambda_i \text{vec}(V_i) \text{vec}(V_i)^* \text{vec}(S).$$

Nótese que en la última igualdad, los sumandos que tienen un autovector V_i antisimétrico se anulan, por ser los subespacios de matrices simétricas y antisimétricas ortonormales. En consecuencia, sólo nos quedan sumandos con autovectores simétricos. Obsérvese además, que el término $V_i^* S \in \mathbb{C}$. Entonces, si V_i es una matriz simétrica, es evidente que $V_i V_i^* S$ es también una matriz simétrica. Concluimos de lo anterior que $\phi(S)$ es simétrica. En consecuencia ϕ preserva simetría. De forma análoga se puede probar que ϕ preserva antisimetría. \diamond

Para el caso de los operadores lineales diagonalizables, no podemos afirmar algo tan fuerte, como lo que se afirma en el teorema anterior:

Teorema 3.3. Sea $L : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ un operador lineal diagonalizable. Si L preserva simetría y antisimetría, entonces tiene una colección completa de autovectores que son matrices simétricas o matrices antisimétricas.

Prueba. Sea $L : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ un operador diagonalizable. Supongamos que L preserva simetría y antisimetría. Entonces, por hipótesis existe una matriz no singular $S \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ tal que

$$S^{-1}LS = \text{diag} \{ \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \}, \quad (1)$$

donde $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ son los autovalores de L . Probaremos que por cada autovector V de L con autovalor λ , donde V no es ni una matriz simétrica ni una antisimétrica, existe un autovector simétrico V_s y un autovector antisimétrico V_a , ambos con autovalor λ . Sea V un autovector de L el cual no es simétrico ni antisimétrico. Entonces existen una matriz simétrica V_s y una matriz antisimétrica V_a no nulas, tales que $V = V_s + V_a$. De lo cual se sigue que

$$L(V) = \lambda V = \lambda V_s + \lambda V_a. \quad (2)$$

Por otro lado tenemos que

$$L(V) = \lambda L(V_s) + \lambda L(V_a).$$

Concluimos que $L(V_s) = \lambda V_s$ y que $L(V_a) = \lambda V_a$. De acuerdo con la ecuación (1), las columnas de la matriz S conforman una colección completa de autovectores para L .

Denotemos con S_1, S_2, \dots, S_n las columnas de S . Probaremos que existe una colección completa de autovectores para L , $\{\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_n\}$, en donde \hat{S}_j para $1 \leq j \leq n$ es una matriz simétrica o una matriz antisimétrica. La colección $\{\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_n\}$ puede construirse de la siguiente manera:

Caso 1: Si S_j es simétrica o antisimétrica entonces tomamos $\hat{S}_j = S_j$.

Caso 2: Si S_j no es simétrica ni antisimétrica, entonces por lo que hemos demostrado arriba, existe un par de matrices no nulas V_s y V_a simétrica y antisimétrica, respectivamente, las cuales son autovectores de L , tales que $S_j \in \langle \{V_s, V_a\} \rangle$. Además, debe existir un único $k \neq j$, $1 \leq k \leq n$, tal que $S_k \in \langle \{V_s, V_a\} \rangle$. En caso contrario, tendríamos que $\{S_1, S_2, \dots, S_{j-1}, S_{j+1}, S_n\} \cup \{V_s, V_a\}$ es una colección completa de autovectores para L , lo cual es una contradicción. Nótese, que no puede existir $r \neq j, k$, tal que $S_r \in \langle \{V_s, V_a\} \rangle$, pues de lo contrario $S_r \in \langle \{S_j, S_k\} \rangle$, lo cual es absurdo. En este caso podemos hacer $\hat{S}_{\min\{k,j\}} = S_a$ y $\hat{S}_{\max\{k,j\}} = S_s$. \diamond

Observación 1. El recíproco del teorema anterior es falso. Para ver esto, tomese el operador lineal

$$T = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix}$$

que diagonaliza en la forma

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & 0 & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix}.$$

En esta igualdad claramente se observa, que la colección

$$\left\{ \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \right\},$$

está conformada por matrices simétricas y antisimétricas, y es un conjunto completo de autovectores de T , ya que

$$\det \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \neq 0.$$

Además,

$$T(I_2) = \left[2 \quad \frac{1}{2} \quad -\frac{1}{2} \right]^{tr}$$

no es una matriz simétrica.

Observación 2. Una pregunta que surge del teorema 3.3 es si todos los operadores diagonalizables que preservan simetría y antisimetría son normales. El siguiente ejemplo la responde negativamente. Considérese el operador

$$\phi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 2 & 0 \end{bmatrix}.$$

Obsérvese que este operador no es normal, ya que

$$\phi\phi^* - \phi^*\phi = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -3 & -3 & 1 \\ 0 & -3 & -3 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 6 \end{bmatrix} \neq 0.$$

Sin embargo, ϕ es diagonalizable pues sus autovalores

$$0, 1, \frac{1}{2}(1 - \sqrt{17}), \frac{1}{2}(1 + \sqrt{17}),$$

son todos distintos.

3.1. Una caracterización general

Usaremos un procedimiento similar al de D. Hill en [4], para caracterizar los operadores lineales que preservan simetría y antisimetría.

Haremos uso de la siguiente notación: sea

$$\phi: \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$$

un operador lineal. Representaremos a ϕ mediante la estructura matricial en bloques

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{nn} \end{bmatrix},$$

en donde $\phi_{ij} = (\phi_{kl}^{ij})_{n \times n}$. Escribiremos $\phi = ((\phi_{kl}^{ij}))_{n \times n}$ para representar esta estructura.

Teorema 3.1.1. *Un operador lineal $\phi = ((\phi_{kl}^{ij}))_{n \times n}$ sobre $\mathcal{M}_n(\mathbb{C})$, preserva simetría y antisimetría si, y solo si $\phi_{kl}^{ij} = \phi_{ij}^{kl}$ para $i, j, k, l = 1, 2, \dots, n$.*

Prueba. Sean, ϕ un operador lineal que preserve matrices simétricas y antisimétricas y E_{ij} la matriz con un 1 en la posición (i, j) y cero en las demás posiciones. Entonces, $\phi(E_{jl} + E_{lj})$ es una matriz simétrica y $\phi(E_{jl} - E_{lj})$ es una matriz antisimétrica. Observemos

que

$$\phi(E_{jl} + E_{lj}) = \begin{bmatrix} \phi_{1l}^{1j} + \phi_{1j}^{1l} & \phi_{2l}^{2j} + \phi_{2j}^{2l} & \cdots & \phi_{nl}^{nj} + \phi_{lj}^{nl} \\ \phi_{2l}^{1j} + \phi_{2j}^{1l} & \phi_{2l}^{2j} + \phi_{2j}^{2l} & \cdots & \phi_{2l}^{nj} + \phi_{2j}^{nl} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{nl}^{1j} + \phi_{nj}^{1l} & \phi_{nl}^{2j} + \phi_{nj}^{2l} & \cdots & \phi_{nl}^{nj} + \phi_{nj}^{nl} \end{bmatrix}$$

y

$$\phi(E_{jl} - E_{lj}) = \begin{bmatrix} \phi_{1l}^{1j} - \phi_{1j}^{1l} & \phi_{2l}^{2j} - \phi_{2j}^{2l} & \cdots & \phi_{nl}^{nj} - \phi_{lj}^{nl} \\ \phi_{2l}^{1j} - \phi_{2j}^{1l} & \phi_{2l}^{2j} - \phi_{2j}^{2l} & \cdots & \phi_{2l}^{nj} - \phi_{2j}^{nl} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{nl}^{1j} - \phi_{nj}^{1l} & \phi_{nl}^{2j} - \phi_{nj}^{2l} & \cdots & \phi_{nl}^{nj} - \phi_{nj}^{nl} \end{bmatrix}$$

Concluimos que para $i, j, k, l = 1, 2, \dots, n$,

$$\phi_{kl}^{ij} + \phi_{kj}^{il} = \phi_{il}^{kj} + \phi_{ij}^{kl} \quad (3)$$

y

$$\phi_{kl}^{ij} - \phi_{kj}^{il} = -(\phi_{il}^{kj} - \phi_{ij}^{kl}). \quad (4)$$

De las dos últimas igualdades se concluye que $\phi_{kl}^{ij} = \phi_{ij}^{kl}$. Ahora asumamos que $\phi_{kl}^{ij} = \phi_{ij}^{kl}$ para $i, j, k, l = 1, 2, \dots, n$. Entonces, por (3) $\phi(E_{jl} + E_{lj})$ es una matriz simétrica, y por (4) $\phi(E_{jl} - E_{lj})$ es una matriz antisimétrica. Además, los conjuntos de matrices $\{E_{jl} + E_{lj}\}_{j < l}$, $\{E_{jl} - E_{lj}\}_{j < l}$, $\{E_{jj}\}$, donde $j, l = 1, 2, \dots, n$ contienen todos los elementos que conforman las bases para los espacios de las matrices simétricas y antisimétricas. Concluimos de lo anterior, que ϕ preserva matrices simétricas y antisimétricas. \diamond

3.2. Ejemplos y aplicaciones

Ejemplo 1. El siguiente operador lineal preserva matrices simétricas y antisimétricas, pero no matrices hermitianas.

$$\phi = \begin{bmatrix} 1 & i & i & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & i & i & -1 \end{bmatrix}.$$

En efecto, una verificación directa sobre los elementos de ϕ , muestra que ϕ satisface el Teorema 3.1.1.

Ahora tomemos

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1+i \\ 1-i & 0 \end{bmatrix} \text{ entonces } \phi(A) = \begin{bmatrix} 1+2i & -1 \\ -1 & 1+2i \end{bmatrix}.$$

Podemos observar que A es una matriz hermitiana. Sin embargo, $\phi(A)$ no es hermitiana.

Ejemplo 2. El siguiente operador lineal preserva matrices hermitianas y simétricas, pero no matrices antisimétricas.

$$\phi = \begin{bmatrix} 1 & i & -i & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -i & i & -1 \end{bmatrix}$$

En efecto, sean $A \in H_2$ y $B \in S_2(C)$. Entonces,

$$A = \begin{bmatrix} a & b-ci \\ b+ci & d \end{bmatrix} \quad \text{y} \quad B = \begin{bmatrix} e & f \\ f & g \end{bmatrix},$$

en donde $a, b, c, d \in R$ y $e, f, g \in C$. Por lo tanto,

$$\phi(A) = \begin{bmatrix} a-2c-d & d-a \\ d-a & a+2c-d \end{bmatrix}$$

y

$$\phi(B) = \begin{bmatrix} e-g & g-e \\ g-e & e-g \end{bmatrix}.$$

Así verificamos que ϕ preserva matrices hermitianas y simétricas. Ahora nótese que $\phi_{1,2}^{1,1} = i \neq -i = \phi_{1,1}^{1,2}$, de modo que ϕ no puede preservar antisimetría.

4. Otros problemas de preservación lineal

Nuestro interés en la presente sección, está centrado en las propiedades que caracterizan a los operadores ortogonales complejos $\phi: \mathcal{M}_n(C) \rightarrow \mathcal{M}_n(C)$, que preservan los conos que se forman al hacer girar las matrices (vistas como vectores euclidianos) alrededor de la matriz idéntica. Veremos, que los operadores ortogonales que preservan estructura espectral hacen parte de esta familia, y que además, preservan conmutatividad y matrices simétricas. Los caracterizaremos como aquellos que pueden factorizarse en la forma $Q \circ Q \circ Q \circ QT$, donde Q es una matriz ortogonal compleja de orden $n \times n$ y T es la matriz asociada al operador de trasposición en la base canónica.

Observación 4.1. Haremos uso del siguiente resultado (véase [8, pág. 254]): Sean $A, B \in \mathcal{M}_n(C)$. Entonces la ecuación matricial

$$AXB = C$$

es equivalente al sistema de ecuaciones

$$(B^{tr} \circ A) \text{vec}(X) = \text{vec}(C).$$

Definición 4.2. La superficie cónica asociada a una matriz $A \in \mathcal{M}_n(C)$, $A \neq 0$ es el conjunto

$$SC(A) = \{X \in \mathcal{M}_n(C) \mid \|\text{Tr}(A)\|X\|_F = \text{Tr}(X)\|A\|_F\}.$$

Si $A = 0$ entonces $SC(A) = \{0\}$.

Definición 4.3 El borde cónico asociado a una matriz $A \in \mathcal{M}_n(C)$, $A \neq 0$ es el conjunto

$$BC(A) = \{X \in SC(A) \mid \text{Tr}(X) = \text{Tr}(A)\}.$$

Si $A = 0$ entonces $BC(A) = \{0\}$.

4.1. Preservación de bordes cónicos

Si $A, B \in \mathcal{M}_n(C)$, entonces

$$\langle A, B \rangle = \text{vec}(B)^* \cdot \text{vec}(A) = \text{Tr}(B^* A)$$

y

$$\text{vec}(B)^{tr} \cdot \text{vec}(A) = \text{Tr}(B^{tr} A).$$

4.1.1. Caracterización

Proposición 4.1. Si I es la matriz idéntica tenemos

- (a) $SC(I) = \{\alpha I \mid \alpha \in R^{\geq 0}\}$.
 (b) $BC(I) = \{I\}$.

Prueba. (a) Sea $X \in SC(I)$. Entonces, si $X = 0$ evidentemente $X \in \{\alpha I \mid \alpha \in R^{\geq 0}\}$. Supongamos que $X \neq 0$. Entonces como por hipótesis $\text{Tr}(X)\sqrt{n} = n\|X\|_F$, resulta

$$\frac{\langle X, I \rangle}{\|X\|_F} = \sqrt{n}. \quad (5)$$

Por consiguiente,

$$\langle X, I \rangle = \sqrt{n}\|X\|_F.$$

Sean $X_1, X_2 \in \mathcal{M}_n(R)$ tales que $X = X_1 + iX_2$, entonces

$$\langle X_1, I \rangle - i\langle X_2, I \rangle = \sqrt{n}\|X\|_F.$$

En consecuencia,

$$\langle X_1, I \rangle = \sqrt{n}\|X_1 + iX_2\|_F.$$

Elevando al cuadrado obtenemos

$$\begin{aligned} \text{Tr}(X_1)^2 &= n\langle X_1 + iX_2, X_1 + iX_2 \rangle \\ &= n\left(\langle X_1, X_1 \rangle + \langle X_2, X_2 \rangle + i\langle X_2, X_1 \rangle - i\langle X_2, X_1 \rangle\right) \\ &= n\left(\|X_1\|_F^2 + \|X_2\|_F^2\right). \end{aligned} \quad (6)$$

Por otro lado, la desigualdad de Cauchy-Shwarz implica

$$|\text{Tr}(X_1)| \leq \sqrt{n}\|X_1\|_F,$$

de donde

$$\text{Tr}(X_1)^2 \leq n\|X_1\|_F^2. \quad (7)$$

Se concluye de (6) y (7) que $X_2 = 0$ y que $\text{Tr}(X_1)^2 = n\|X_1\|_F^2$. Entonces, $X = X_1$ y

$$\frac{|(X, I)|}{\|X\|_F\|I\|_F} = 1. \quad (8)$$

Concluimos que $X = \alpha I$, para algún $\alpha \in \mathbb{R}^{*0}$. De (5) y (8) necesariamente se tiene que $\alpha > 0$.

(b) Se sigue directamente de (a) y de la definición de $BC(I)$. \diamond

Teorema 4.1. Sea $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ un operador ortogonal complejo. Las siguientes afirmaciones son equivalentes:

- (a) $\phi(I) = I$.
- (b) $\text{Tr}(\phi(A)) = \text{Tr}(A)$, para todo $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$.
- (c) $\phi(BC(A)) = BC(A)$ para todo $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$.
- (d) $\phi(SC(A)) = SC(A)$ para todo $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$.

Prueba. (a) \implies (b): Supongamos que $\phi(I) = I$, y que $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$. Entonces,

$$\begin{aligned} \text{Tr}(\phi(A)) &= \text{Tr}(\phi(A)^{tr}) \\ &= \text{Tr}(\phi(A)^{tr}I) \\ &= \text{Tr}(\phi(A)^{tr}\phi(I)) \\ &= \text{vec}(\phi(A))^{tr} \cdot \text{vec}(\phi(I)). \end{aligned} \quad (9)$$

Recordando que estamos usando ϕ para denotar a un operador lineal y a la matriz que lo representa en la base canónica, entonces

$$\begin{aligned} \text{vec}(\phi(A))^{tr} \cdot \text{vec}(\phi(I)) &= \left(\phi \text{vec}(A)\right)^{tr} \cdot \phi \text{vec}(I) \\ &= \text{vec}(A)^{tr} \phi^{tr} \phi \text{vec}(I) \\ &= \text{vec}(A)^{tr} \text{vec}(I) \\ &= \text{Tr}(A^{tr}I) \\ &= \text{Tr}(A). \end{aligned} \quad (10)$$

De (9) y (10), concluimos que $\text{Tr}(\phi(A)) = \text{Tr}(A)$ para todo $A \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$.

(b) \implies (c): Sea $X \in BC(A)$. Entonces, $X \in SC(A)$ y $\text{Tr}(X) = \text{Tr}(A)$. Además, por hipótesis $\text{Tr}(\phi(X)) = \text{Tr}(X)$, y por ser ϕ ortogonal $\|\phi(X)\|_F = \|X\|_F$. Entonces,

$$\begin{aligned} \text{Tr}(X)\|A\|_F &= \text{Tr}(A)\|X\|_F = \text{Tr}(\phi(X))\|A\|_F \\ &= \text{Tr}(A)\|\phi(X)\|_F \end{aligned}$$

y

$$\text{Tr}(\phi(X)) = \text{Tr}(A).$$

Podemos concluir que $\phi(X) \in BC(A)$. Con esto hemos probado que $\phi(BC(A)) \subseteq BC(A)$. Nos queda por probar que $BC(A) \subseteq \phi(BC(A))$, lo cual es equivalente a demostrar que para todo $X \in BC(A)$ existe un $Y \in$

$BC(A)$ tal que $X = \phi(Y)$. Sea $X \in BC(A)$. Primero observemos que existe $Y \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ tal que $\phi(Y) = X$ por ser ϕ una biyección. Entonces, $\text{Tr}(\phi(Y)) = \text{Tr}(X)$. Y por ser ϕ ortogonal $\|Y\|_F = \|\phi(Y)\|_F = \|X\|_F$. Además, por hipótesis $\text{Tr}(\phi(Y)) = \text{Tr}(Y)$. De lo anterior concluimos

$$\begin{aligned} \text{Tr}(X)\|A\|_F &= \text{Tr}(A)\|X\|_F = \text{Tr}(Y)\|A\|_F \\ &= \text{Tr}(A)\|Y\|_F \end{aligned}$$

y

$$\text{Tr}(Y) = \text{Tr}(A).$$

De donde se sigue que $Y \in BC(A)$.

(c) \implies (d): Si $A = 0$, el resultado es evidente, supongamos entonces que $A \neq 0$. Sea $X \in SC(A)$, entonces

$$\text{Tr}(A)\|X\|_F = \text{Tr}(X)\|A\|_F. \quad (11)$$

Por otro lado $X \in BC(X)$, de donde por la hipótesis $\phi(X) \in BC(X)$. Por lo tanto $\text{Tr}(\phi(X)) = \text{Tr}(X)$. Además, por ser ϕ ortogonal a $\|\phi(X)\|_F = \|X\|_F$. Podemos concluir que

$$\text{Tr}(A)\|\phi(X)\|_F = \text{Tr}(\phi(X))\|A\|_F,$$

lo cual significa que $\phi(X) \in SC(A)$. Con esto hemos probado que $\phi(SC(A)) \subseteq SC(A)$.

Ahora tomemos $X \in SC(A)$, entonces la igualdad (11) se cumple. Por hipótesis, $X \in BC(X)$ implica $X \in \phi(BC(X))$. En consecuencia $X = \phi(Y)$ para algún $Y \in BC(X)$. Se sigue que

$$\text{Tr}(Y) = \text{Tr}(X).$$

Por otro lado tenemos que $\|X\|_F = \|Y\|_F$. Y Usando (11)

$$\text{Tr}(A)\|Y\|_F = \text{Tr}(Y)\|A\|_F,$$

lo cual significa que $Y \in SC(A)$, por lo tanto $X = \phi(Y) \in \phi(SC(A))$.

(d) \implies (a): Por hipótesis, $\phi(SC(I)) = SC(I)$ y usando la proposición 4.1 tenemos $\phi(I) = \alpha I$ para algún $\alpha \in \mathbb{R}^{\geq 0}$. Pero ϕ preserva norma, en consecuencia $\alpha = 1$. Concluimos que $\phi(I) = I$. \diamond

Corolario 4.1. La colección de todos los operadores ortogonales que preservan bordes cónicos forman un subgrupo del grupo ortogonal.

Prueba. Es directa del ítem (a) en el teorema anterior. \diamond

Observación 4.2. Es interesante observar, que si $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ es un operador unitario que preserva matrices hermitianas, entonces las siguientes afirmaciones son equivalentes:

- (a) $\phi(I) = I$.
 (b) $\text{Tr}(\phi(A)) = \text{Tr}(A)$ para todo $A \in \mathcal{H}_n$.
 (c) $\phi(BC(A)) = BC(A)$ para todo $A \in \mathcal{H}_n$.
 (d) $\phi(SC(A)) = SC(A)$ para todo $A \in \mathcal{H}_n$.

La prueba de esta afirmación, es similar a la del teorema 4.1 y sólo debemos tener en la cuenta, que si $A \in \mathcal{H}_n$ entonces $\text{Tr}(\phi(A)) = \text{Tr}(\phi(A)^*)$.

4.1.2. El operador $Q \otimes Q$, Q ortogonal

Si Q es una matriz ortogonal de orden n , es fácil ver que $Q \otimes Q$ es una matriz ortogonal de orden n^2 . Visto como operador, $Q \otimes Q$ tiene algunas propiedades interesantes:

1. Preserva la matriz idéntica y en consecuencia preserva bordes cónicos.
2. Preserva estructura espectral y conmutatividad.
3. Preserva matrices simétricas.
4. El conjunto de los operadores ortogonales que factorizan en la forma $Q \otimes Q$, conforman un subgrupo del grupo ortogonal.

Estas propiedades conducen las siguientes preguntas:

1. ¿Existen operadores ortogonales que preserven bordes cónicos, y/o estructura espectral, y/o conmutatividad, y/o matrices simétricas que no factoricen en la forma $Q \otimes Q$, para alguna matriz ortogonal Q de orden n ?
2. ¿Cuál es el subgrupo ortogonal más grande que preserva bordes cónicos y matrices simétricas, y/o estructura espectral, y/o conmutatividad?

Se resolverán algunas de estas preguntas en las siguientes proposiciones y teoremas. El objetivo inmediato consiste en probar la siguiente afirmación:

Un operador lineal que preserva la estructura espectral, factoriza en las formas $Q \otimes Q$ ó $Q \otimes QT$, donde Q es una matriz ortogonal compleja de orden $n \times n$ y T es la matriz asociada al operador de trasposición en la base canónica, si, y sólo si, preserva matrices simétricas.

Antes de presentar la prueba de esta afirmación, son necesarios algunos resultados preliminares.

Proposición 4.2. Sean $A, B \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$. Si $A \otimes B = I_{n^2}$ entonces existen escalares $\alpha, \beta \neq 0$ tales que $A = \alpha I_n$, $B = \beta I_n$.

Prueba. Sean $A = (a_{ij})_{n \times n}$ y $B = (b_{ij})_{n \times n}$. Por hipótesis, $a_{ij}b_{ij} = 0$ para $i \neq j$ y $a_{ii}b_{ii} = 1$ para $i = 1, \dots, n$. Entonces, $a_{ii}b_{jj} = 1$ para $i, j = 1, \dots, n$.

En consecuencia existen escalares $\alpha, \beta \neq 0$ tales que $a_{ii} = \alpha$, $b_{jj} = \beta$ para $i, j = 1, \dots, n$. Además, $a_{ij}\alpha = 0$ y $b_{ij}\beta = 0$ para $i \neq j$, por consiguiente $a_{ij} = b_{ij} = 0$ para $i \neq j$. Concluimos que $A = \alpha I_n$, $B = \beta I_n$. \diamond

Teorema 4.2. Sean \hat{Q} una matriz ortogonal de orden $n^2 \times n^2$ y S una matriz no singular de orden $n \times n$ tales que $\hat{Q} = S^{\text{tr}} \otimes S^{-1}$. Entonces existe una matriz ortogonal Q de orden $n \times n$ tal que $\hat{Q} = Q \otimes Q$.

Prueba. Como \hat{Q} es ortogonal entonces

$$\begin{aligned} (S^{\text{tr}} \otimes S^{-1})(S^{\text{tr}} \otimes S^{-1})^{\text{tr}} &= I_{n^2} \\ (S^{\text{tr}} \otimes S^{-1})(S^{\text{tr}})^{\text{tr}} \otimes (S^{-1})^{\text{tr}} &= \\ (S^{\text{tr}}S) \otimes (S^{-1}(S^{-1})^{\text{tr}}) &= \end{aligned}$$

Por la proposición 4.2, existe un escalar $\alpha \neq 0$ tal que $S^{\text{tr}}S = \alpha I_n$, de aquí se sigue que $S^{-1} = \frac{1}{\alpha} S^{\text{tr}}$. Hagamos $Q = \sqrt{\frac{1}{\alpha}} S^{\text{tr}}$, entonces $QQ^{\text{tr}} = I_n$. Por consiguiente Q es ortogonal y $\hat{Q} = Q \otimes Q$. \diamond

Teorema 4.3. [Fröbenius 1897] Sea $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ un operador lineal. Las siguientes afirmaciones son equivalentes:

- (i) ϕ preserva polinomios característicos.
- (ii) ϕ preserva polinomios característicos de matrices hermitianas.
- (iii) ϕ preserva determinante y traza.
- (iv) Existe una matriz no singular $S \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ tal que $\phi(X) = S^{-1}XS$ ó $\phi(X) = S^{-1}X^{\text{tr}}S$, para todo $X \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$.

De los teoremas anteriores se sigue el siguiente resultado.

Teorema 4.4. Sea $\phi : \mathcal{M}_n(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$ un operador lineal que preserva estructura espectral. Entonces, ϕ es ortogonal (respectivamente, unitario) si y sólo si ϕ preserva matrices simétricas (respectivamente, matrices hermitianas)

Prueba. De acuerdo con el teorema de Fröbenius, existe una matriz no singular S , tal que o bien $\phi(X) = S^{-1}XS$ o $\phi(X) = S^{-1}X^{\text{tr}}S$, para todo $X \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$.

\Leftarrow) : Sea $A \in \mathcal{S}_n(\mathbb{C})$, entonces como ϕ preserva matrices simétricas tenemos que $(S^{-1}AS)^{\text{tr}} = S^{-1}AS$, así $S^{\text{tr}}A(S^{-1})^{\text{tr}} = S^{-1}AS$ y de aquí

$$SS^{\text{tr}}A = ASS^{\text{tr}}. \quad (12)$$

Ahora vamos a probar que SS^{tr} es una matriz escalar no nula. Sea $U = (u_{ij})_{n \times n} = SS^{\text{tr}}$ y hagamos $A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, donde $\lambda_i \neq 0$ y $\lambda_i \neq \lambda_j$ para $i \neq j$. Por (12), $u_{ij}\lambda_i = u_{ij}\lambda_j$ para $i \neq j$, concluimos que $u_{ij} = 0$ para $i \neq j$. Hagamos $A = (a_{ij})_{n \times n}$, donde $a_{ij} = 1$ para todo $i, j = 1, \dots, n$. Por (12), $u_{11} = u_{22} = \dots = u_{nn}$. Se concluye que $SS^{\text{tr}} = \text{diag}(\lambda, \dots, \lambda)$, donde λ es una constante no nula (si $\lambda = 0$, entonces $S = 0$ lo cual es una contradicción ya que S es invertible). Entonces, $\frac{1}{\lambda}SS^{\text{tr}} = I_n$. Finalmente tomemos $Q = \frac{1}{\sqrt{\lambda}}S$. Observemos que Q es ortogonal y que $\phi(X) = Q^{\text{tr}}XQ$ ó $\phi(X) = Q^{\text{tr}}X^{\text{tr}}Q$. Por lo tanto, ϕ escrito en forma matricial es $Q^{\text{tr}} \otimes Q^{\text{tr}}$ ó $Q^{\text{tr}} \otimes Q^{\text{tr}}T$, en donde T representa el operador de trasposición el cual es ortogonal. Por consiguiente, ϕ es ortogonal.

\implies) : Ahora supongamos que ϕ es ortogonal. Como ϕ preserva estructura espectral, por el teorema de Fröbenius existe una matriz no singular S , tal que $\phi = S^{\text{tr}} \otimes S^{-1}$ ó $\phi = S^{\text{tr}} \otimes S^{-1}T$. Nótese que si $\phi = S^{\text{tr}} \otimes S^{-1}T$ entonces $S^{\text{tr}} \otimes S^{-1} \in \mathcal{O}_n(\mathbb{C})$ (grupo de las matrices ortogonales de elementos en \mathbb{C}) por ser ϕ y T ortogonales. Por el teorema 4.4, $S^{\text{tr}} \otimes S^{-1}$ se puede escribir en la forma $Q \otimes Q$ en donde Q es una matriz ortogonal. Se sigue entonces que $\phi(X) = QXQ^{\text{tr}}$ ó $\phi(X) = QX^{\text{tr}}Q^{\text{tr}}$ para todo $X \in \mathcal{M}_n(\mathbb{C})$, es decir, ϕ preserva simetría. \diamond

4.1.3. El Caso 2×2

El caso 2×2 tiene algunos aspectos muy particulares. En primer lugar tenemos el siguiente resultado:

Proposición 4.3.1. *El operador $\phi : \mathcal{M}_2(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_2(\mathbb{C})$ preserva estructura espectral si, y sólo si, preserva traza y norma.*

Prueba. La proposición es una consecuencia directa del siguiente hecho: sean $\lambda_1 \leq \lambda_2$ los autovalores de $A \in H_2$. Nótese que si hacemos

$$m = \frac{\text{Tr}(A)}{2} \quad \text{y} \quad s = \sqrt{\frac{\|A\|^2}{2} - \left(\frac{\text{Tr}(A)}{2}\right)^2},$$

entonces $\lambda_1 = m - s$ y $\lambda_2 = m + s$.

Teorema 4.3.1 *Sea $\phi : \mathcal{M}_2(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_2(\mathbb{C})$ un operador ortogonal, tal que $\phi(I) = I$. Entonces:*

- (i) ϕ preserva estructura espectral.
- (ii) ϕ factoriza en la forma $Q \otimes Q$ ó $Q \otimes QT$ donde Q es una matriz ortogonal de $\mathcal{M}_2(\mathbb{C})$ y T es la matriz asociada al operador de trasposición.
- (iii) ϕ preserva simetría.

Prueba. Por el teorema 4.2.1, ϕ preserva traza, y puesto que ϕ preserva norma, ϕ preserva estructura espectral de matrices hermitianas por la proposición 4.3. Entonces, por el teorema de Fröbenius, existe una matriz no singular S tal que $\phi(X) = S^{-1}XS$ ó $\phi(X) = S^{-1}X^{\text{tr}}S$ para todo $X \in \mathcal{M}_2$. concluimos que $S^{\text{tr}} \otimes S^{-1} \in \mathcal{O}_n(\mathbb{C})$ ó $S^{\text{tr}} \otimes S^{-1}T \in \mathcal{O}_n(\mathbb{C})$, donde T denota la matriz asociada al operador de trasposición en la base canónica. Por consiguiente, $S^{\text{tr}} \otimes S^{-1} \in \mathcal{O}_n(\mathbb{C})$ ya que $T \in \mathcal{O}_n(\mathbb{C})$. De aquí y el Teorema 3.2, existe una matriz ortogonal Q de orden 2×2 , tal que $S^{\text{tr}} \otimes S^{-1} = Q \otimes Q$. De donde $\phi(X) = Q^{\text{tr}}XQ$ ó $\phi(X) = Q^{\text{tr}}X^{\text{tr}}Q$, para todo $X \in \mathcal{M}_2(\mathbb{C})$, de aquí fácilmente se puede demostrar que ϕ preserva matrices simétricas. \diamond

Este teorema no se cumple para $n \geq 3$: en efecto, tomemos las matrices

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ -\frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}.$$

Nótese que estas matrices son ortogonales entre sí. Podemos completar el conjunto $\{A_1, A_2, A_3\}$ a una base ortogonal $\{A_1, A_2, A_3, \dots, A_9\}$ de $\mathcal{M}_3(\mathbb{C})$. Sea $E_{i,j} \in \mathcal{M}_3(\mathbb{C})$, la matriz que tiene un 1 en la posición (i, j) y cero en la demás posiciones. El conjunto $\{E_{i,j} | i, j = 1, 2, 3\}$, forma una base para $\mathcal{M}_3(\mathbb{C})$. Tomemos un operador lineal $\phi : \mathcal{M}_3(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_3(\mathbb{C})$ tal que

$$\begin{aligned} \phi(E_{1,1}) &= A_1, & \phi(E_{2,2}) &= A_2, & \phi(E_{3,3}) &= A_3, \\ \phi(E_{1,2}) &= A_4, & \phi(E_{1,3}) &= A_5, & \phi(E_{2,3}) &= A_6, \\ \phi(E_{2,1}) &= A_7, & \phi(E_{3,2}) &= A_8, & \phi(E_{3,1}) &= A_9. \end{aligned}$$

El operador ϕ es ortogonal, pues envía una base ortogonal en una base ortogonal. Nótese que

$$\phi(I) = \phi(E_{1,1} + E_{2,2} + E_{3,3}) = A_1 + A_2 + A_3 = I,$$

pero ϕ no preserva conmutatividad ya que $\phi(E_{1,1})\phi(E_{2,2}) \neq \phi(E_{2,2})\phi(E_{1,1})$. En consecuencia, ϕ no factoriza en las formas $Q \otimes Q$ y $Q \otimes QT$, para alguna matriz ortogonal $Q \in \mathcal{M}_3(\mathbb{C})$ y por el teorema 4.4 no preserva estructura espectral.

Teorema 4.3.2. *Sea $\phi : \mathcal{M}_2(\mathbb{C}) \rightarrow \mathcal{M}_2(\mathbb{C})$ un operador lineal que preserva matrices hermitianas, entonces las siguientes afirmaciones son equivalentes:*

- (i) ϕ preserva estructura espectral de las matrices hermitianas.
- (ii) ϕ preserva la matriz idéntica y la norma de las matrices hermitianas.
- (iii) $\phi(X) = U^*XU$ ó $\phi(X) = U^*X^tU$, donde U es una matriz unitaria 2×2 .

Prueba. Se sigue de la proposición 4.3.1, del teorema de Fröbenius y de la observación 4.2. \diamond

REFERENCIAS

- [1] Chi-Kwong Li & S. Pierce, *Linear preserver problems*. Amer. Math. Monthly, **108** (2001), .
- [2] Chi-Kwong Li & Nam-Kiu Tsing, *Linear Preserver Problems: A Brief Introduction and Some Special Techniques*.
- [3] M. Marcus & B. Moyls, *Linear transformations on algebras of matrices*. Canad. J. Math. **11** (1959), 383-396.
- [4] D. Hill, *Linear transformation which preserve Hermitian matrices*. Linear Algebra Appl. **6** (1973), 257-262.
- [5] C. Kunicki & D. Hill, *Normal preserving linear transformations*. Linear Algebra Appl. **170** (1992), 107-115.
- [6] R.A. Horn & C.R. Johnson, *Matrix Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- [7] R. Grone, Ch. Johnson, M. Sa & H. Woikowicz, *Normal matrices*. Linear Algebra Appl. **87** (1987), 213-/225.
- [8] R.A. Horn & C. R. Johnson, *Topics in Matrix Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

EL CARBÓN Y SU PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

por

José M. Rincón*

Resumen

Rincón, J. M.: El carbón y su problemática ambiental. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26**(99): 271-278. ISSN 0370-3908.

Se hace una revisión de los principales usos del carbón, su mecanismo de transformación a coque y productos líquidos. Se comenta como el carbón es fuente de combustibles libres de azufre y nitrógeno, y para combustibles de celdas de combustión como hidrógeno y metanol. Es además materia prima para la obtención de carbón activado, material indispensable en el tratamiento de aguas y para la obtención de materia orgánica utilizada en el mejoramiento de suelos, reducción del uso de fertilizantes inorgánicos e incremento de las cosechas agrícolas en la agricultura orgánica.

Palabras clave: Carbón, combustible, medio ambiente.

Abstract

Coal is raw material for metallurgical coke and synthetic liquid fuels free of sulfur and nitrogen. It is also source of hydrogen and methanol for the fuel cells. The activated carbon obtained from coal is used for environment cleaning. Coal is also raw material for humus production to improve soil structure, increase harvest yield and reduce inorganic fertilizers.

Key words: Coal, fuel, environment.

Cuando en 1959, vine por primera vez a Bogotá a realizar la inscripción en la universidad, tuve oportunidad de conocer el carbón mineral y su manejo en las estufas domésticas de aquel entonces, dos hechos me llamaron especial atención, el uno sobre el calor irradiado alrededor de la estufa, que lo hacía el sitio ideal, para una persona de tierra caliente como yo, y, el segundo, la caída del hollín en el patio.

Desde esa época he tenido interés por el problema energético, en especial el del carbón; ya en mi época de estudio de pregrado compraba libros sobre la materia y en 1969 hice mi primera visita al museo del carbón en Londres.

En los años setenta, después de la guerra de Jom Kippur, vino la escalada de precios del petróleo en el mundo que coincidió con la crisis energética de Colombia. Era obvio

* Miembro de Número Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

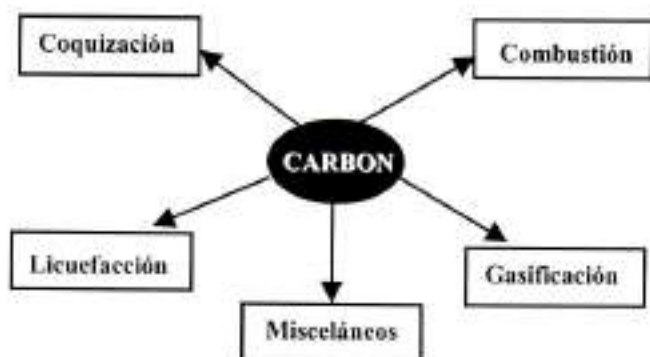
entonces, que el carbón podía ser una solución a la balanza energética del país, ya que las reservas son enormes y existen en todas las regiones^{1,2}.

Con este principio, inicié el grupo de investigación y más tarde fundamos el Laboratorio de Investigación en Combustibles (LIC), de la Universidad Nacional y gracias a la búsqueda permanente de financiación, logramos conseguir ayuda económica, a través del programa ICFES-BID y así creamos las bases para la construcción del edificio anexo al Departamento de Química, donde actualmente funciona el LIC. Por lo anterior, esta presentación se hará teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante mi experiencia de trabajo en dicho laboratorio. Haré primero una descripción de los principales usos y perspectivas del carbón y posteriormente la discusión de la problemática ambiental.

1. Principales usos del carbón

El carbón está asociado al desarrollo industrial de la humanidad. Fue la fuente de energía más importante del Siglo XIX y la primera mitad del siglo XX, y es la esperanza energética del presente. Veamos algunos avances realizados en cada uno de los procesos básicos de utilización del carbón.

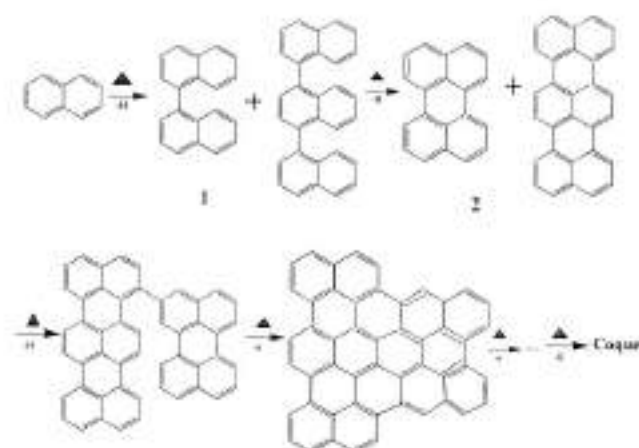
USO DEL CARBÓN



1.1 Coquización

El coque es un sólido carbonoso de alta resistencia química y mecánica propiedades que lo hacen único para la obtención de hierro en el alto horno. La obtención de coque a partir de los llamados carbones coquizables, se hace desde hace varios siglos. El problema se inicia cuando estos carbones empiezan a ser escasos y se debe recurrir a mezclas con carbones más abundantes utilizando aditivos para mejorar la calidad, aquí la investigación es la ayuda para mejorar y/o orientar el desarrollo de nuevos procesos.

Los carbones coquizables poseen en su estructura racimos aromáticos de 3-5 anillos³ que generan durante el calentamiento una fase plástica a la temperatura de rompimiento de los enlaces sigma, 350-450 °C. Este rompimiento es, en la mayoría de los casos homolítico⁴ y a estas condiciones se generan radicales libres que, por estar dentro de una matriz policondensada, son parcialmente estables, se localizan en el racimo aromático y dan origen a repolimerización, la cual es relativamente organizada y de aquí a la llamada mesofase que posee una organización anisotrópica laminar y semicristalina^{5,6}, la cual es responsable de la alta resistencia mecánica y química del coque.



Mecanismo de crecimiento aromático inducido térmicamente

Del anterior mecanismo de crecimiento cristalino se concluye que los carbones o aditivos de mezcla deben ser aromáticos o formar estructuras aromáticas a las temperaturas de reacción 350-450 °C. Por esto, en el laboratorio, se trabajó en el desarrollo de aditivos tal como: breas de carbón, fondos de refinería o bitúmenes naturales⁷⁻¹⁰ que nos han permitido agregar hasta 20% de carbones de menor calidad, en cuanto a la coquización, convirtiendo carbones tipo Cerrejón eminentemente térmicos, en carbones de mezcla para coquización¹¹⁻¹³.

1.2 Licuefacción

Si la coquización es una polimerización, en la licuefacción lo que buscamos es una depolimerización y obtener compuestos más livianos. Entonces, en este proceso, nos podemos imaginar que el apagado de los radicales libres formados durante la termólisis, a cambio de hacerlo entre fragmentos grandes, lo hacemos con hidrógeno¹⁴. La obtención del hidrógeno radical ha sido hasta ahora un arte y empieza a ser una ciencia. Un hidrógeno radical

se puede obtener a partir de compuestos que lo generen justo a la misma temperatura que la de la especie de carbón, o mediante deslocalización de la molécula de hidrógeno con ayuda de un catalizador.

En este aspecto, desarrollamos el apagado de estos radicales a través de transferencia de hidrógeno proveniente de compuestos que nos sirven de almacenamiento de hidrógeno y que luego lo entregan justo en el momento de formación de la especie radical del carbón¹⁴. Un ejemplo del mecanismo se ilustra cuando se trabaja con compuestos ricos en hidrógeno tipo crudos nafténicos como el crudo pesado de Castilla que al pirolizarse generan hidrógeno y reaccionan con el compuesto almacén, del tipo antraceno, para obtener un 9-10 dihidroantraceno el cual entrega de nuevo el hidrógeno a la especie radical del carbón cuando ocurre el rompimiento de su molécula¹⁵⁻¹⁶.

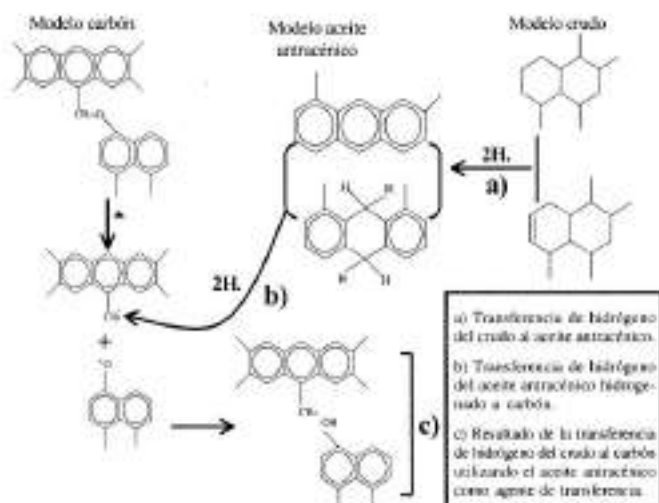


Diagrama de interacción de carbón y aditivos durante la pirólisis

Puesto que estas reacciones se realizan en estado sólido, donde existe poca movilidad de las especies moleculares, hicimos un prehinchamiento con solvente de la estructura macromolecular del carbón, permitiendo en esta forma, mayor facilidad para el contacto de las especies reactantes y disminuyendo como consecuencia, las dificultades de transferencia de masa. Así obtuvimos incrementos hasta de un 15% con respecto al sistema convencional¹⁷⁻¹⁹. Estos nuevos conceptos totalmente comprobados en otros laboratorios nos permitieron aumentar los rendimientos en la primera etapa de depolimerización y bajar la temperatura de 420 °C a 380 °C.

1.3 Gasificación

Las reacciones de gasificación del carbón son la base de muchos procesos industriales tales como la combustión del carbón y la producción de gas de síntesis, gases combustibles y carbón activado²⁰⁻²¹. Ellas también están presentes en los procesos metalúrgicos y en la regeneración de carbón de los catalizadores.

La gasificación de carbón con vapor de agua es la reacción básica más importante y busca producir monóxido de carbono e hidrógeno, el llamado gas de síntesis.



Existen además reacciones laterales como las del monóxido con vapor para obtener más hidrógeno o reacción de desplazamiento. Con esta última reacción se maneja cualquier proporción de monóxido o de hidrógeno.



O, para obtener mayor cantidad de monóxido



también se produce la reacción de metanación del carbono y del monóxido con hidrogeno.



El gas de síntesis, (CO, H₂) constituye el ladrillo fundamental de la química y en mi concepto será la base de las nuevas plantas carboquímicas. A partir del gas de síntesis obtenemos hidrógeno y metanol, combustibles de las celdas de combustión, también se obtienen productos químicos aromáticos, gasolinas de alto octanaje, productos químicos parafínicos o aceite diesel de alto número de cetano, combustibles sintéticos sin nitrógeno ni azufre. Prácticamente cualquier producto que hoy producimos de la petroquímica se puede obtener a partir del gas de síntesis.

En este campo, nuestros trabajos en este campo estuvieron enfocados en la búsqueda de conocimientos básicos sobre los parámetros cinéticos de las reacciones de gasificación de las reacciones sin y con catalizadores²⁴⁻²⁶.

1.4 Combustión

La combustión es quizá la primera reacción química que conoció la humanidad. Sin temor a equivocarme todos los seres humanos la utilizamos diariamente. Sin embargo, químicamente esta reacción no es simple y su

manejo requiere de la ayuda de expertos. En una forma simplista una molécula de oxígeno oxida carbón o hidrógeno para producir bióxido de carbono, agua y energía.

La combustión de carbón mineral es una de las reacciones más complejas y difícil de manejar desde el punto de vista físico y químico. Inicialmente, los compuestos volátiles producidos por la pirólisis crean una atmósfera rica en hidrocarburos de bajo peso molecular que al oxidarse producen alrededor del sólido carbonizado una atmósfera pobre en oxígeno; y en una segunda etapa, cuando se consumen los volátiles, este carbonizado reacciona con el oxígeno gaseoso. La velocidad de reacción desde el punto de vista químico es supremamente rápida, pero la etapa determinante está regulada por el control físico de la reacción con el carbonizado y si no existe suficiente temperatura y turbulencia para permitir el contacto entre los reactantes, la reacción puede terminarse o lo que en términos comunes llamamos apagarse. El desconocimiento del manejo adecuado de esta reacción, que consume cerca del 90% del carbón extraído en el mundo, es lo que ha originado la mala fama de este recurso desde el punto de vista ambiental. Un ejemplo fue nuestro trabajo con la térmica de Zipaquirá que permitió mejorar la calidad de las cenizas, aumentar la eficiencia de la térmica y disminuir los problemas ambientales de la planta²⁵⁻³⁰.

2. La problemática ambiental

Hemos visto que el carbón mineral puede ser utilizado en diferentes procesos los cuales son solución a nuestros problemas energéticos del futuro. Sin embargo, hay un mal ambiente en cuanto a su utilización e inclusive, algunos de nuestros políticos proponen venderlo antes de que su valor sea despreciable y surjan nuevas tecnologías que lo reemplacen. ¿Qué tan cierto puede ser esto?

Los problemas ambientales causados por el mal uso del carbón no son nuevos y han sido objeto de numerosas discusiones y reclamos. A continuación, presento un resumen histórico de los problemas ambientales causados por la combustión del carbón³¹.

En 1272 el rey Eduardo I de Inglaterra prohibió el uso del "Carbón Marítimo" en Londres con el fin de despejar los cielos del humo. El parlamento británico ordenó torturar y ahorcar a un hombre que vendía y consumía dicho carbón. Durante el reinado de Ricardo II y Enrique V se tomaron medidas en Inglaterra para reglamentar y restringir el uso del carbón. Una de las primeras publicaciones que trata de la contaminación del aire fue escrita en 1661 por John Evelyn, miembro fundador de la Royal Society por orden del rey Carlos II. En diciembre de 1930, una

región altamente industrializada del valle de Neus (Bélgica), se cubrió durante tres días de una espesa niebla por lo que cientos de personas enfermaron y 60 murieron. Poco después una espesa niebla cubrió el área de Manchester y Salford en Inglaterra durante nueve días en Enero de 1931, murieron 592 personas.

No fue sino hasta que una capa de niebla cubrió Londres por tres días en Diciembre de 1952, cuando se hizo evidente el siniestro potencial de la contaminación del aire por la combustión del carbón, casi todos los que habían muerto tenían antecedentes clínicos de bronquitis, enfisema o trastornos cardíacos. En 1956 el Parlamento Inglés promulgó una ley de aire puro y, Gran Bretaña inició un programa, para reducir la combustión de carbón bituminoso. En Colombia, en el valle de Sogamoso y Zonas de plantas rudimentarias con la coquización es factible ver algo parecido a lo descrito con anterioridad.

Como vemos el carbón mineral es un material supremamente complejo que aún no hemos aprendido a manejar. Hoy en día, sabemos que el carbón tiene una estructura polimérica, cuya unidad de polimerización, son núcleos de anillos aromáticos que van desde 1-2 anillos para los carbones de bajo rango hasta más de 5 para los llamados de alto rango o antracíticos³, a su vez contienen azufre del 0.5-5%, Nitrógeno alrededor de 1.5% y otros elementos volátiles en menores proporciones. También contienen minerales que dan origen a las cenizas, 5-30%³².

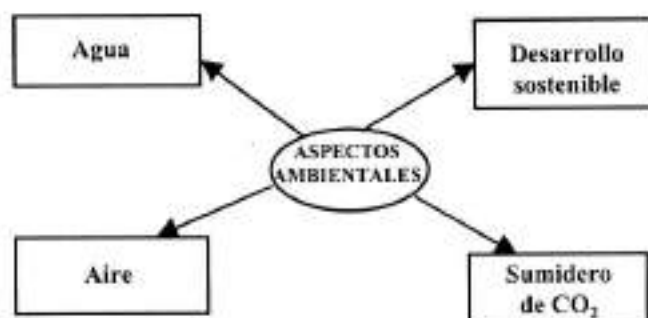
Cuando se realiza la combustión de este material, podemos asumir dos condiciones de operaciones extremas. Una, como en la estufa mencionada donde la alimentación se realiza en trozos de varios centímetros de tamaño y en porciones cada cierto tiempo. En este caso, la combustión no será completa, se forma hollín o material particulado, en grandes cantidades, y lo que es peor, se emiten sustancias tóxicas aromáticas, monóxido de carbono y grandes cantidades de vapores orgánicos causantes del smog, comentado en los casos anteriores. Los heteroátomos como el S y N generan óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno causantes de la llamada lluvia ácida y precursores de smog; además, hay una buena cantidad de cenizas volantes con alto contenido de carbón residual o carbono no quemado. La segunda condición es, cuando hacemos una combustión perfecta donde hemos tenido en cuenta todos los principios científicos y técnicos de la combustión incluidos temperatura de reacción, tamaño de partícula, turbulencia control de partículas y emisiones y, entonces, los residuos serán principalmente bióxido de carbono, agua, óxidos de azufre y de nitrógeno, y cenizas sin carbón residual. Todos los procesos industriales van a estar entre estos dos extremos y a medida que la combustión se realiza bajo control y

en procesos industriales, cada vez estaremos más cerca al segundo caso.

La investigación en los conocimientos básicos de la "ciencia del carbón" es muy activa y gracias a estos avances hemos pasado, en el caso de la combustión, del 7% de eficiencia en la estufa de tres piedras a 27% en la térmica de Zipaquirá, 42% en la térmicas modernas a presión y hasta un 56% en la planta de ciclo combinado. Es decir que, para producir la misma energía de la térmica de Zipaquirá, tendríamos que usar la mitad del carbón en una planta de ciclo combinado. De todas maneras, aún en la combustión completa, todos los residuos con excepción del agua, causan problemas de contaminación ambiental por lo cual es necesario su control permanente.

La respuesta a las inquietudes que nacen de la discusión anterior, viene del mismo carbón, es decir que el carbón es también solución al problema ambiental que ocasiona y es fuente de empleo y materia prima para nuevas usos. Haré mención de algunos casos, sacados de mi propia experiencia profesional en los cuales el carbón es la solución al problema ambiental.

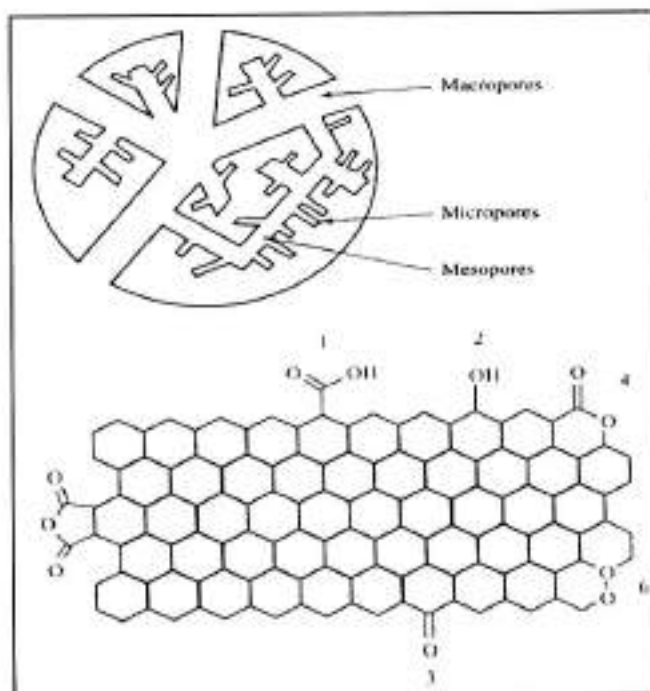
ASPECTOS AMBIENTALES



2.1. En la purificación de aguas domésticas y residuales

El agua es el solvente universal y como tal varía según el sitio y la fuente. El carbón activado, derivado del carbón mineral, contiene meso y microporos que le dan las propiedades de adsorción superficial y los grupos funcionales de los bordes le dan las propiedades de adsorción específica. Estas propiedades son indispensables para evitar los halometanos y compuestos orgánicos en las plantas de tratamiento de aguas para uso doméstico³⁾. Las aguas residuales urbanas contienen tensioactivos, materia orgánica, grasas, etc., donde el

carbón activado es la mejor opción de tratamiento; lo mismo podemos decir de los efluentes industriales en los cuales, para el retiro de trazas de metales pesados, compuestos aromáticos y pesticidas, el carbón activado es indispensable. En este campo nos queda mucho por hacer en investigación, en especial, buscar nuevos procesos que lo hagan más económico y poderlo llevar a todos los municipios del país



2.2. Limpieza de aire

La contaminación del aire originada por la actividad humana se debe a fuentes fijas y móviles, más del 90% es causada por la combustión de recursos fósiles. El carbón es el combustible preferido de las fuentes fijas y el responsable de las emisiones de estas; ¿quien no ha visto una chimenea expulsando cantidades de humos en plantas industriales? Su influencia ha sido tan grande que a él se debe la mayoría de los problemas estudiados. Una combustión de carbón mal realizada genera en el aire: VOCs, material particulado, gases ácidos, vapor de agua, monóxido y bióxido de carbono.

De nuevo el carbón activado es importante para atrapar los vapores orgánicos en las plantas industriales^{34,35)} y en sectores de alta concentración humana. También en casos de derrame de productos peligrosos o en la llamada guerra química o bacteriológica.

2.3. Sumidero de bióxido de carbón

El problema del calentamiento global, causado por la combustión de recursos fósiles, no es nuevo y ya en 1896, el Químico Svante Arrhenius publicó su trabajo titulado "Influencia del ácido carbónico sobre la temperatura de la tierra" anticipándose a nuestras discusiones de hoy sobre el calentamiento causado por el bióxido de carbono y otros gases conocidos como los gases de efecto invernadero. La solución es la de confinar el bióxido de carbono y almacenarlo o su captura por medio de reacciones químicas como la fotosíntesis en los árboles o algas marinas. Otra opción es el almacenamiento en los mismos espacios dejados por el gas natural, petróleo o depósitos naturales. De todas formas, se debe hacer una purificación previa la cual involucra utilización de adsorbentes químicos como la trietanolamina. Una solución interesante es su purificación por adsorción-desorción en tamices moleculares derivados del mismo carbón mineral; en nuestro caso, estos tamices se prepararon con semiantracita de páramo de Guerrero, Cundinamarca.

Quizá la solución más elegante a este problema, es el almacenamiento de CO_2 y el incremento en la extracción de metano en las viejas y agotadas minas de carbón³⁶. El CO_2 es adsorbido por las capas de carbón que no son aprovechables para minería y desplaza al metano. Por cada dos moléculas de CO_2 inyectada se extrae aproximadamente una de metano.

Un trabajo realizado en los países bajos concluye que esta opción es económicamente realizable en el futuro cercano y que puede jugar un papel importante en la reducción de los gases de efecto invernadero por un periodo cercano a 50 años.

Las capas profundas de carbón no son accesibles a la minería convencional y el gas generado, metano, es un combustible limpio. El almacenamiento de CO_2 por esta vía puede ser preferible al almacenamiento en acuíferos salinos, campos libres de gas o en las profundidades de los océanos.

2.4. Desarrollo sostenible

El carbón es de origen vegetal producto de transformaciones bioquímicas y geoquímicas causadas por su enterramiento y almacenamiento durante millones de años.

Problema. Los suelos tropicales son pobres en materia orgánica y después de las primeras cosechas la respuesta a los cultivos industriales es muy pobre, por ejemplo, algodón en el Cesar, y por esto la práctica de agregar fertilizantes químicos que al utilizarse repetitivamente, salinizan los suelos. Una solución a este problema es la de agregar

materia orgánica capaz de facilitar el intercambio catiónico y disminuir el uso de fertilizantes químicos a través de sustancias derivadas del carbón³⁷. Los resultados de poner en práctica esta hipótesis han mostrado un aumento en las cosechas y regeneración de la capacidad agrícola de los suelos^{38,39}.

Como hemos visto, la humanidad tiene carbón mineral para rato; su utilización seguirá siendo motor de bienestar y desarrollo humano. Las nuevas tecnologías, a través de la gasificación y síntesis, permiten obtener hidrógeno y metanol, combustibles de las celdas de combustión; gasolinas y aceite diesel libres de azufre y nitrógeno como combustibles del futuro. Colombia es un país exportador de carbón y como tal tenemos la obligación de generar soluciones que permitan conservar los mercados y ser fuente para evitar los problemas ambientales. Debemos en consecuencia, para suplir nuestras necesidades y las de nuestros consumidores, incrementar la investigación básica y aplicada estableciendo un **programa de carbón limpio**, apoyar los ensayos demostrativos y estar atentos a realizar las transferencias tecnológicas.

Bibliografía

1. Rincón J. M. 1981. El carbón en Colombia, *Industria Química*, 3: 18.
2. ————. 1981. Perspectivas de adecuación y creación de tecnologías carboníferas en Colombia. Instituto Italo Latino Americano. 684 p.
3. ————. 1994. Estructura Macromolecular del carbón, *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
4. ————, H. de López, J. Calderón & J. Díaz; E.S.R. 1984. Study of the formation of optical texture of cokes from petroleum and coal tar pitches. *Ext. Abs. Int. Symp on carbon*, Japan Carbon Society, 161, 1981. Shian John H., From coal to single-stage and two stage products: a reactive model of coal structure. 63: 1187-1196.
5. ————, L. Pacheco & M. Díaz. 1981. Study of the formation of cokes, from coals, *Ext. Abs. Int. Symp. on carbon*, Japan Carbon Society. 165 p.
6. ———— & H. de López. 1983. The role of trapped free radicals in the pyrolysis of coal and related compounds. *Coal Science*, International Energy Agency, Pittsburgh. 550 p.
7. ———— & H. de López. 1983. Free radicals in pitch pyrolysis, 16th Biennial conf. on carbon, Am Carbon Society, pp. 22-23.
8. ————, R. Carvajal & J. Díaz. 1983. Anisotropic development in a low rank coal, 16th Biennial conf. on carbon, Am. Carbon Society, pp. 24-26.
9. ————, R. Carvajal & L. Pacheco. 1985. Measurement of anisotropic development in a low rank coal using petroleum heavy oil. *Fuel*, 64: 119.

10. ———, C. Torres & P. Sánchez. 1987. Enhancement of anisotropic development in low rank coal using heavy oil mixture. Proceeding "XVIIIth Biennial Conference on CARBON". 187 p.
11. Pacheco L. A., S. Gaviria, P. Sánchez, H. de López & J. M. Rincón. 1987. Influence of additives in the reactivity of coques from low rank coals. Proceeding "XVIIIth Biennial Conference on CARBON". 456p.
12. Rincón J. M. 1983. Algunos aspectos de la pirólisis del carbón. *Rev. Col. de Química*, 12: 49.
13. ———, M. Rodríguez, L. Pacheco & F. Pérez. 1988. Mejoramiento de la reactividad de coques utilizando breas como aditivos. *Revista Colombiana de Química*, 75 (17).
14. ———, E. Cifuentes & A. Jiménez. 1985. Liquefacción del carbón del Cerrejón utilizando breas hidrogenadas como solvente donador de hidrógeno. *Revista Colombiana de Química*, 14: 59.
15. ——— & R. Angulo. 1986. Petroleum heavy oil mixtures as a source of hydrogen in the liquefaction of Cerrejón coal. *Fuel*, 65: 899.
16. ———, I. Pacheco, L. Henao, J. Reasoner y L. Bucholz. 1987. Synergism in coal liquefaction. Libro: Coal science and technology. Editado por: J.A. Mauljin, K.A. Nater y H.A.G. Chermin. Elsevier, Amsterdam. 11: 375.
17. ——— & S. Cruz. 1988. Influence of preswelling in the liquefaction of coals. *Fuel*, 67: 1161.
18. ———, J. Ramírez & Sergio Cruz. 1989. Preswelling in the liquefaction of coal. *COAL SCIENCE*. 851 p.
19. ———, J. Ramírez, S. Cruz. 1990. Co-processing of some colombian coals using petroleum heavy oils as hydrogen donor and anthracene oil as co-solvent. *Fuel*, Agosto, pp. 1052-1054.
20. ———, Moreno G. & Cruz S. 1994. Reactivity of some colombian coals toward CO₂. Influence of swelling. *Fuel*, Julio.
21. ———, Camacho H. & Polanía A. 1993. Evaluación de la reactividad hacia la gasificación del carbon del Cerrejón. *Revista Colombiana de Química*, 2 (2): 23-29.
22. ———, Moreno G. & Ramírez E. 1991. Estudio del comportamiento de carbones colombianos en el proceso de gasificación. Rodríguez L. E., Memorias VIII Congreso Colombiano de Química, Cali, septiembre, 69 p.
23. ———, J. de J. Díaz, G. Sarmiento. 1990. Combustibilidad de los carbones de la zona andiboyacense. *Química e industria*, Dic. 2: 15-22.
24. ———, L. S. Ramírez, G. Moreno y L. E. Rodríguez. 1991. Apropiación y transferencia de tecnología de gasificación de carbón y capacitación de recursos humanos. Memorias I congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón. Medellín Agosto, pp. 273-276.
25. ———, Díaz J. J., Baquero M. C., Moreno G., Montenegro J., Cabarcas H., Arevalo L., Medellín C. y Oyuela L. 1995. Estudio de la Combustibilidad de carbones planta Martín del Corral. Memorias Tercer Congreso de Ciencia y Tecnología del Carbón Universidad de la Guajira, Riohacha, pp. 253-256.
26. ———, Escallón M., Baquero M. c., Moreno G., Ortiz P & Díaz J. J. 1996. Reactivity of some colombian coals towards combustion. American Chemical Society, Fuel Chemistry Division, Vol. 41, No 3, 212th ACS National Meeting, Orlando, Florida, pp. 1109-1112.
27. ———, Valderrama G. & Viasús J. 1996. Influence of maceral composition in the combustion of some colombian coals. American Chemical Society, Fuel Chemistry Division, Vol. 41, No 3, 212th ACS National Meeting, Orlando, Florida, pp. 1123-1126.
28. ———, Agámez J, Díaz J. J. & Klose W. 1997. Combustion Behavior of Oxidized coals. ICCS Essen, Germany.
29. ———, Escallón M., Baquero M. c., Moreno G., Ortiz P & Díaz J. J. 1996. Reactivity of some colombian coals towards combustion. American Chemical Society, Fuel Chemistry Division, Vol. 41, No 3, 212th ACS National Meeting, Orlando, Florida, pp. 1109-1112.
30. ———, Díaz J. J., Moreno G., Baquero M., Ortiz P., Medellín C., Arévalo L. & Hurtado J. Combustibilidad de carbones de Termozipa. Memorias IV Congreso Nacional y II Internacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, Paipa, Boyacá, 19-15/5/98, pp. 340 - 347.
31. Wark Warner. 1999. Contaminación del aire, Ed. Limusa, pp. 18-19.
32. Rincón J. M., J. M. Velázquez & L. Lesmes. 1978. Análisis de cenizas de algunos carbones colombianos. *Química e Industria*, Octubre. 23 p.
33. ———, A. Polanía, J. Castro, O. & Arguello Y. 1989. Evaluación del cuscú de palma africana y del carbón del Cerrejón para producir carbón activado. *Revista Colombiana de Química*, 18: 67.
34. ———, Castro C., Barajas M., & Klose W. 1997. Effect of solvent preswelling of coal in the develop of high surface carbons. Carbon Conference, Penn State, United States.
35. ——— & Klose W, Wobig H. 1997. And Determination of the Microstructure f activated chars made from preswollen coals. Proceedings International Conference on coal science, 7-12 September, Essen, Germany. Edited by A. Ziegler, K.H. van Heek, J. Klein and W. Wanzl, pp. 1469.
36. Green House Issues. Julio 2001, 55: 10-19.
37. Rincón J. M., J. G. Portilla & Vanegas J. 1991. Obtención de fertilizantes nitrogenados a partir de carbón. Preparación y caracterización química. *Revista Colombiana de Química*, Vol 20 (1): 1-10.
38. ———, Quintero C., Bedoya G. & Guevara P. 1999. Influence of calcium humates from coal in the fertilization of tropical soils. Prospects for the coal science in the 21st century. B G. Lee & Z.T Lju, Editors. Shanxi Science and Technology Press, pp. 92
39. ———, A. Cabrera & P. Guevara. 2000. Producción, caracterización y pruebas agronómicas de ácidos húmicos producidos con carbones colombianos. Memorias V Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Carbón, pp. 231/233. Valledupar, Noviembre 29.

DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR DE ASFALTENOS

por

Carmen María Romero¹ & Alberto Gómez²

Resumen

Romero, C. M.: Determinación del peso molecular de asfaltenos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26(99):** 279-284. ISSN 0370-3908.

Se determinaron pesos moleculares de asfaltenos provenientes de asfaltos colombianos tipo Barrancabermeja, usando los métodos de descenso crioscópico y MALDI TOF. Los asfaltenos usados tenían diferente procedencia: asfalto fresco Barrancabermeja y asfalto envejecido del mismo origen, recuperado a partir de pavimento usado durante cinco años. Los resultados obtenidos por medio de las dos técnicas son consistentes y muestran que el peso molecular promedio de asfaltenos provenientes de asfalto fresco es más bajo que el de asfaltenos provenientes de asfaltos recuperados. El método de descenso crioscópico usando benceno como solvente mostró buena confiabilidad y precisión cuando los cambios de temperatura son medidos con una incertidumbre de ± 0.001 K. El método de preparación de la matriz fue modificado usando trifluoroacetato de plata como promotor de ionización.

Palabras clave: Asfaltenos; peso molecular; descenso crioscópico; MALDI TOF.

Abstract

Average molecular weights of asphaltenes from Colombian Barrancabermeja asphalts were determined using freezing point depression and MALDI TOF methods. Asphaltenes from different sources were used: fresh Barrancabermeja asphalt and recovered asphalt of the same origin that had been used as paving during five years. The results obtained using both techniques are consistent and show that average molecular weight of asphaltenes from fresh asphalt is lower than the weight of asphaltenes from recovered asphalts. The freezing point depression method using benzene as solvent proved to be reliable and accurate when the temperature changes are measured with an uncertainty of ± 0.001 K. The matrix preparation for the MALDI TOF method was modified using silver trifluoroacetate as ionization promoter.

Key words: Asphaltenes; molecular weight; freezing point depression; MALDI TOF

1 Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. cmromero@ciencias.ciencias.unal.edu.co.

2 Escuela Colombiana de Ingeniería. agomez@escuelaing.edu.co

Introducción

Muchos estudios se han dirigido hacia la caracterización de asfaltenos y especialmente a la determinación de sus pesos moleculares (Sheu, 1995; Artok, 1999; Acevedo, 1998; Loeber, 1998; Wiehe, 1998; Dabir, 1996; Masuda, 1996). La mayoría han empleado asfaltenos obtenidos de asfaltos frescos y en consecuencia hay una gran ausencia de información acerca de asfaltenos obtenidos a partir de muestras de pavimento, a pesar de su importancia para el proceso de recuperación de asfaltos (Siddiqui 1999).

Varios métodos experimentales han sido usados, siendo los más frecuentes la Cromatografía de Permeación en Gel (GPC), Osmometría de presión de Vapor (VPO) y Técnicas de Espectrometría de Masas, como MALDI TOF. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran diferencias considerables que han sido atribuidas especialmente a la naturaleza compleja de las muestras (Sheu, 1995), a diferencias debidas a su origen (Sheu, 1995), a su fuerte tendencia a adsorberse en una gran cantidad de superficies lo cual causa los bajos valores de peso molecular obtenidos por GPC (Artok, 1999) y la tendencia de los constituyentes a formar asociados en solventes orgánicos dando resultados no confiables por GPC y VPO (Sheu, 1995; Artok, 1999; Masuda, 1996). Los estudios muestran que para prevenir asociación cuando se utiliza VPO, las medidas deben ser realizadas a 403 K (Sheu, 1995; Michon 1997; Sheu, E. Y.; De Tar, 1995; Strausz, 1999; Mohamed, 1999), pero este hecho podría ser responsable de otros cambios estructurales en los asfaltenos que pueden afectar la determinación de su peso molecular (Herrington, 1996). Por otra parte, las determinaciones en GPC están sujetas a la selección de estándares adecuados siendo los poliestirenos los más frecuentemente usados a pesar de su diferencia estructural con los asfaltenos. Por otra parte, la comparación entre los valores reportados sugiere que otros factores como dependencia con la concentración, proceso de envejecimiento y naturaleza del solvente tienen una influencia fundamental en la determinación experimental del peso molecular promedio de las unidades no asociadas (Strausz, 1999; Mohamed, 1999; Herrington, 1996; Wiehe, 1998; Burlingame, 1998; Masuda, 1996; Victorov, 1999).

En este estudio se utilizaron dos métodos para la determinación del peso molecular promedio de asfaltenos provenientes de asfaltos Barrancabermeja colombianos (Instituto Colombiano del Petróleo ECOPETROL, 1999): descenso crioscópico y espectrometría de masas MALDI TOF.

El descenso crioscópico es una de las propiedades coligativas más frecuentemente usadas para la determinación del peso molecular del soluto y es muy recomendable para el caso de solutos no volátiles. Este método, sin embargo, no es frecuentemente usado para unidades de alto peso molecular debido a las dificultades experimentales inherentes a la determinación de pequeñas diferencias de temperatura.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que el método puede ser utilizado para determinación precisa de pesos moleculares promedio de asfaltenos y presenta las siguientes ventajas sobre otras técnicas: no perturba la muestra, las temperaturas de trabajo son bajas y se utiliza con soluciones muy diluidas, previniendo así la formación de agregados. Además permite detectar la influencia de componentes de bajo peso molecular. Los valores obtenidos utilizando este método son consistentes con los obtenidos por MALDI TOF.

El estudio se desarrolló usando dos muestras diferentes de asfaltenos. Una de ellas fue obtenida a partir de asfalto Barrancabermeja fresco y la otra fue obtenida a partir de asfalto recuperado del mismo origen que había sido usado como pavimento durante cinco años. Los resultados muestran que el peso molecular promedio de asfaltenos provenientes de asfalto fresco es considerablemente más bajo que el de asfaltenos obtenidos a partir de asfalto recuperado.

Métodos experimentales

Los reactivos y materiales empleados para el desarrollo experimental del presente trabajo, fueron: Tolueno Mallinckrodt, Benceno y Diclorometano Merck, n-Heptano J. T. Baker, todos ellos de calidad reactivo analítico; asfalto fresco de refinería Barrancabermeja y asfalto recuperado del mismo origen. La recuperación del asfalto se realizó disolviendo la muestra de pavimento en diclorometano y separando el asfalto por destilación fraccionada (IP-105/75).

Para los dos tipos de asfaltos los asfaltenos fueron obtenidos de acuerdo con los procedimientos y normas descritos en la literatura (ASTM D-4124-91; ASTM D-3279-83). Los asfaltenos se precipitaron con n-heptano usando 30 cm³ solvente / g asfalto. El sólido así obtenido se filtró, se le adicionó más n-heptano (50 cm³ de solvente / g asfalto) y la mezcla fue destilada. El precipitado se disolvió en benceno y luego se evaporó el solvente. El sólido se lavó varias veces con benceno y los asfaltenos sólidos se obtuvieron evaporando el solvente. Las muestras de asfaltenos se guardaron en desecador.

Las soluciones de asfaltenos se prepararon por pesada usando una balanza Mettler modelo AT261 en un rango de concentración entre 0.01 y 0.06 g of asfaltenos en 1000 g de benceno. Las temperaturas de congelación del solvente puro y de las soluciones fueron obtenidas a partir de curvas de enfriamiento determinadas con un termómetro Beckmann de 1°C que tiene divisiones de 0.002 °C de modo que la temperatura puede ser leída con una incertidumbre de $\pm 0.001^\circ\text{C}$ (Romero, 1996).

El peso molecular promedio se calculó a partir de la ecuación:

$$\Delta T_f = K_f \times W_2 / \overline{M}_2 \quad (1)$$

En ella, ΔT_f es el cambio en la temperatura de congelación con respecto a la del solvente puro, K_f es la constante crioscópica del benceno (5.12K.kg/mol) (Riddick, 1970) W_2 es el peso de asfalto disuelto en 1000 g de benceno y \overline{M}_2 es el peso molecular promedio del asfalto.

Los pesos moleculares de los dos tipos de muestras de asfaltenos fueron también determinados por espectrometría de masas MALDI TOF usando un espectrómetro Bruker con voltaje de 20kV en ion positivo.

Se preparó una solución con 2,5µg de asfalto en 1 mL de tetrahidrofurano (THF) (Artok, 1999). Esta solución se mezcló con una matriz que contenía ácido 2,5-dihidroxibenzoico de acuerdo con las recomendaciones. Se obtuvo un segundo conjunto de espectros modificando la preparación de la matriz por adición de trifluoroacetato de plata como promotor de ionización. El peso molecular promedio se determinó directamente a partir de los espectros.

Resultados

Las Figuras 1 y 2 muestran el comportamiento del descenso en la temperatura de congelación ΔT en función de la concentración expresada como gramos de asfalto en 1000g de benceno para los dos tipos de muestras de asfaltenos usados en este trabajo. Se utilizó benceno como solvente pues los asfaltenos se definen como la fracción del asfalto soluble en tolueno o benceno y su constante crioscópica, 5.12 K.kg/mol, es lo suficientemente grande para permitir la determinación de los cambios de temperatura producidos por adiciones pequeñas de soluto.

En las dos figuras puede observarse que en la región diluida, esto es, por debajo de 5g asfalto/1000 benceno, la disminución en la temperatura de congelación muestra una dependencia lineal con la concentración como es de esperar para el comportamiento de esta propiedad

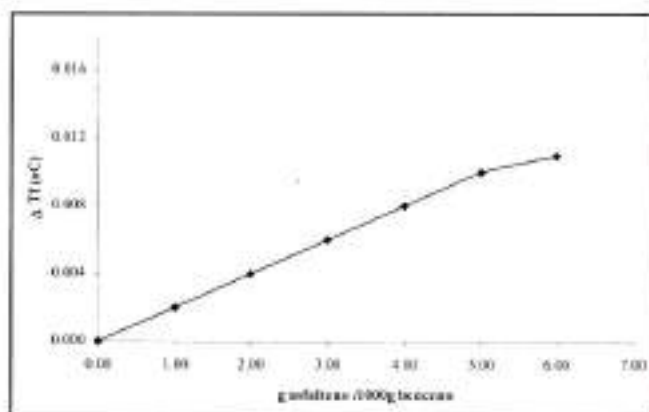


Figura 1. Descenso crioscópico vs. concentración de asfaltenos obtenidos a partir de asfalto fresco.

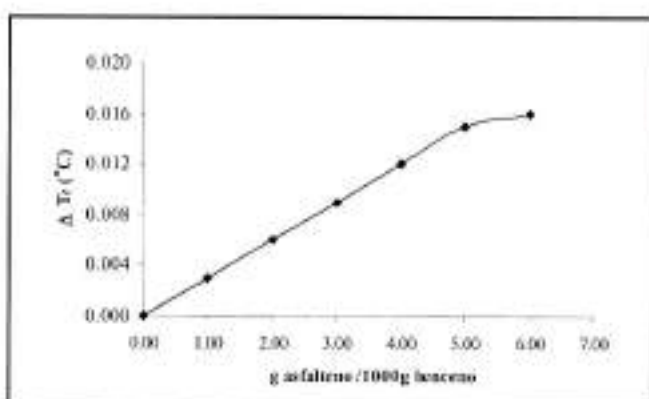


Figura 2. Descenso crioscópico vs. concentración de asfaltenos obtenidos a partir de asfalto recuperado.

coligativa en soluciones muy diluidas. El comportamiento lineal en esta región también sugiere que el peso molecular calculado representa el peso molecular promedio de los constituyentes no asociados. A concentraciones superiores, la pendiente cambia debido a desviaciones al comportamiento de soluciones diluidas, posiblemente debidos a asociación.

Los datos entre 0 y 4g asfalto/1000 g benceno fueron ajustados por mínimos cuadrados de acuerdo con la ecuación (1) y el peso molecular promedio \overline{M}_2 se calculó a partir de la pendiente K_f / \overline{M}_2 . Para asfaltenos provenientes de asfalto fresco Barrancabermeja el peso molecular promedio obtenido fue de 1707 g/mol y para los provenientes de asfalto recuperado fue de 2560 g/mol.

Los resultados están en el rango esperado para asfaltenos (Sheu, 1995; Dabir, 1996; Masuda, 1996; Artok, 1999; Acevedo, 1998; Loeber, 1998; Strausz, 1999;

Mohamed, 1999; Murgich 1999) y muestran que el método de descenso crioscópico es adecuado para la determinación del peso molecular de asfaltenos si se emplean soluciones muy diluidas. Además de ser un método preciso y poco costoso, tiene la ventaja de no perturbar la muestra durante la determinación, lo que no sucede con otros métodos usualmente empleados.

Los espectros MALDI TOF para la determinación de pesos moleculares fueron obtenidos inicialmente usando una mezcla de solución de asfalto en THF con ácido dihidroxibenzoico en proporción 2:8. Bajo estas condiciones los espectros muestran un máximo de abundancia en la región de 450-550 m/z.

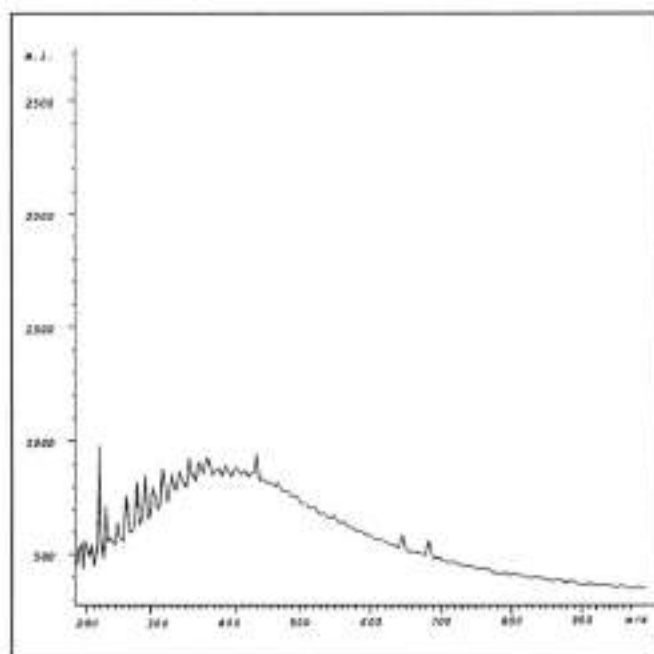


Figura 3. Espectro MALDI TOF de asfaltenos obtenidos usando una mezcla de THF y ácido 2,5-dihidroxibenzoico.

Aunque este procedimiento ha sido usado en algunos estudios y se han reportado resultados similares (Artok, 1999), el máximo no puede ser atribuido al peso molecular promedio de los asfaltenos. De acuerdo con Artok, el máximo en esta región se observa porque la ionización no es eficiente lo que lleva a subestimar la contribución debida a componentes de alto peso molecular. Por esta razón, el procedimiento fue modificado, adicionando una sal de plata como promotor de ionización. La matriz se preparó adicionando trifluoroacetato de plata antes de agregar la mezcla de asfalto en THF con ácido dihidroxibenzoico.

Los espectros obtenidos en estas condiciones muestran picos muy nítidos que no pueden ser atribuidos a ruido o a ionización deficiente. Para los asfaltenos provenientes de asfaltos frescos sólo se obtuvo un pico que muestra que la abundancia máxima se obtiene en 2051.89 m/z. Para los asfaltenos de asfalto recuperado se obtuvieron dos picos; el primero en 2096.62 m/z y el segundo en 4466.14 m/z que posiblemente corresponde a un agregado estable.

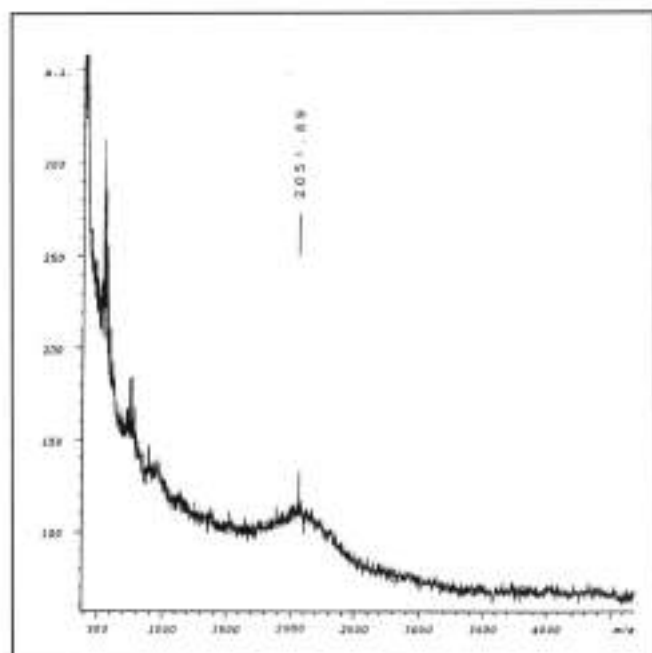


Figura 4. Espectro MALDI TOF de asfaltenos provenientes de asfalto fresco, obtenido usando trifluoroacetato de plata.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para el peso molecular promedio de asfaltenos usando los métodos descritos anteriormente. En los dos casos, los valores para asfaltenos obtenidos a partir de asfaltos recuperados

Tabla 1. Peso molecular promedio de asfaltenos obtenido a partir de medidas de descenso crioscópico y espectrometría de masas maldi TOF

Origen de asfaltenos	\bar{M}_n (g/mol) Descenso crioscópico	\bar{M}_n (m/z) MALDI TOF	
		Pico 1	Pico 2
Asfalto fresco	1707	2051.89	
Asfalto recuperado	2560	2096.62	4466.14

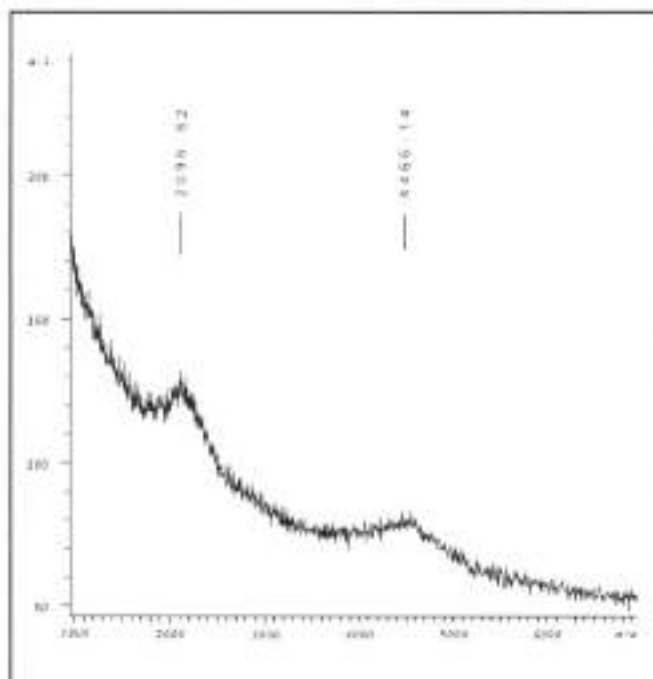


Figura 5. Espectro MALDI TOF de asfaltos recuperados, obtenido usando trifluoroacetato de plata.

son mayores que los correspondientes a asfaltos obtenidos de asfaltos frescos, es decir, obtenidos de crudo recién destilado. La diferencia entre ambos tipos de muestra ΔM_2 es 853 Da cuando se usa el método crioscópico y sólo 45 cuando se usa el método MALDI TOF. Consideramos que esto se explica considerando el segundo pico en el espectro MALDI TOF de los asfaltos obtenidos a partir de asfalto recuperado. El peso molecular observado por el método crioscópico refleja la presencia de especies no asociadas y la formación de un agregado estable a esa concentración.

Conclusiones

En este trabajo se determinó el peso molecular promedio de asfaltos obtenidos a partir de asfalto colombiano tipo Barrancabermeja y de asfalto recuperado del mismo origen que había sido usado como pavimento durante cinco años.

Los resultados usando el método crioscópico y espectrometría de masas MALDI TOF muestran que el peso molecular de asfaltos obtenidos a partir de asfalto fresco es más bajo que el determinado para asfaltos envejecidos y recuperados. La diferencia entre los resultados para los dos tipos de asfalto ΔM_2 es mayor cuando se usa el

método crioscópico. La presencia de un segundo pico en 4466 m/z en el espectro MALDI TOF de asfaltos recuperados, que podría atribuirse a la formación de un agregado estable, explica esta diferencia.

El método crioscópico permite efectuar determinaciones precisas de pesos moleculares con un equipo simple y económico y sin perturbar la naturaleza de la muestra. Sin embargo, no puede distinguir la formación de agregados como si sucede con el método MALDI TOF.

El método MALDI TOF es adecuado para la determinación de pesos moleculares de asfaltos si la preparación de la matriz se modifica adicionando un promotor de ionización como trifluoroacetato de plata.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, la Escuela de Ingeniería, la Fundación Instituto de Inmunología y los valiosos comentarios y sugerencias del profesor Luis Pacheco, del Departamento de Química de la Universidad Nacional.

Referencias bibliográficas

1. Acevedo S, Escobar G, Ranaudo M, A & Rizzo A. 1998. Molecular weight properties of asphaltenes calculated from GPC data for octylated asphaltenes. *Fuel*. 77(8): 853-858.
2. Artok L., Su Y., Hirose Y., Hosokawa M., Murata S. & Nomura M. 1999. Structure and Reactivity of Petroleum-Derived Asphaltene. *Energy & Fuel*. 13: 287-296.
3. ASTM. 1991. Standard Test Methods for Separation of Asphalt into Four Fractions ASTM D- 4124-91.
4. ASTM. 1983). Standard Test Method for n - Heptane Insolubles ASTM D. 32: 79-83.
5. Burlingame, A. L., Boyd, R. K., Gaskell, S. J. 1998. Mass Spectrometry, *Anal. Chem.* 70(16): 647.
6. Dabir, B., Nematy, M., Mehrabi, A.R., Rassamdana, H. & Sahimi, M. 1996. Asphalt flocculation and deposition. III. The molecular weight distribution, *Fuel*. 75(14): 1633.
7. Herrington, P. R. & Ball, F. A. 1996. Temperature dependence of asphalt oxidation mechanism, *Fuel*. 75: 1129.
8. Instituto Colombiano del Petróleo, ECOPEL. Los asfaltos colombianos. Cartilla práctica para el manejo de los asfaltos colombianos. Bucaramanga. 1999.
9. I.P. 1975. Recovery of Bituminous Binders By Dichloromethane extraction IP- 105 / 75
10. Loeber L., Muller M. J. A. & Sutton O. 1998. Bitumen in colloid science: A chemical, structural and rheological approach. *Fuel*. 77(13): 1443-1450.
11. Masuda, K., Okuma, O., Kanaji, M. & Matsumara, T. 1996. Chromatographic characterization of preasphaltenes in liquefied products from Victorian brown coal, *Fuel*. 75(9) 1065.

12. Michon L. C., Didier M., Plance J. P & Hanque B. 1997, Estimation of average structural parameters of bitumens by ^{13}C nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Fuel*, **76**(1): 9-15.
13. Mohamed R. S., Ramos A. C. & Loh W. 1999. Aggregation Behavior of Two Asphaltene Fraction in Aromatic Solvent. *Energy & Fuels*, **13**: 323-327.
14. Murgich J. & Abanero J.A. 1999. Molecular Recognition in Aggregates Formed by Asphaltenes and Resin Molecules from the Athabasca Oil Sand. *Energy & Fuels*, **13**, 278.
15. Riddick, J. A. & Bunger, W.B. 1970. *Organic Solvents*, Vol. II of *Techniques of Chemistry*, Weissberger A. Ed., Wiley Interscience, New York.
16. Romero, C. M. & Blanco, L. H. 1996. *Tópicos en Química Básica. Experimentos de Laboratorio*, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá.
17. Sheu E. Y. & Mullins O. C. 1995. *Asphaltenes, Fundamentals and Applications*, Plenum Press New York.
18. Sheu E. Y., De Tar M. M. & Storm D.A. 1991. Rheological Properties of vacuum residue fraction in organic solvents. *Fuel*, **70**: 1151-1156.
19. Siddiqui M.N. & Ali M.F. 1999. Studies on the aging behaviour of the Arabian asphalt. *Fuel*, **78**(9): 1005-1015.
20. Strausz O. P. 1999. Molecular Recognition in Aggregates Formed by Asphaltene and Resin Molecules from the Athabasca Oil Sand. *Energy & Fuels*, **13**(2): 278-286.
21. Victorov A. I. & Smirnova N A. 1999. Description of asphaltene polydispersity and precipitation by means of thermodynamic model of self-assembly *Fluid Phase Equilibria* **158-160**(1-2): 471-480.
22. Wiehe, I. A. 1998. Asphaltene precipitation and solvent properties of crude oil *Petroleum Sci. & Tech.Int.* **16**: 251.

***DILOCARCINUS LAEVIFRONS* MOREIRA, 1901: A COMPLETE DESCRIPTION (Decapoda; Brachyura: Trichodactylidae)**

por

Martha R. Campos^{1,2}

Abstract

Campos, Martha R.: *Dilocarcinus laevifrons* Moreira, 1901: a complete description (Decapoda; Brachyura: Trichodactylidae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 26(99): 285-288, 2002. ISSN 0370-3908.

Dilocarcinus laevifrons Moreira, 1901, has been registered from Pernambuco (1901) and Amazon (1969) States, Brazil, but a complete description of the species was lacking. New records are here reported that expand the distribution of this species to the Colombian Amazon region, and the collected specimens permit a complete taxonomic description.

Key words: Brachyura, Trichodactylidae, Fresh water crabs, Taxonomy.

Resumen

Dilocarcinus laevifrons Moreira, 1901, había sido registrada para los Estados de Pernambuco (1901) y Amazonas (1969), Brasil, pero se carecía de una descripción completa de la especie. Los registros de la presente contribución extienden su distribución a la región amazónica de Colombia y el material recolectado permite una descripción taxonómica completa.

Palabras clave: Brachyura, Trichodactylidae, cangrejos de agua dulce, Taxonomía.

1 Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales, Apartado Aéreo 103698, Bogotá, Colombia, S. A.

2 E-mail: mhrocha@ciencias.unal.edu.co.

1. Introducción

The species *Dilocarcinus laevifrons* Moreira, 1901, belongs to the family Trichodactylidae. Since the holotype was a female, it was not possible to Moreira describing and illustrating the gonopods. In addition the typical locality was not well established: "we found it in jar with several crustacean coming from Pernambuco; we believe accordingly that this species lives in the rivers of that state", Moreira, 1901. He assumed that the area of distribution of this species comprised the State of Pernambuco in Brazil.

Bott registered in 1969 a juvenile male from Cuieiras River, affluent of Negro River, joining it 60 km NW of Manaus of the Amazonas State. He only included two pictures of the carapace and one of the first male gonopod of a juvenile specimen.

Thus, at present time the description of the species *Dilocarcinus laevifrons* Moreira, 1901, is not complete, in particular because the first male gonopod description and illustration is an essential part for the taxonomic identification of the species. Thus, the purpose of the present paper is to complete the description of *Dilocarcinus laevifrons* by using specimens collected during faunistic surveys of the Colombian Amazon region in 1994.

The new records reported herein expand the distribution of this species to the Amazon region in Colombia. The material is deposited in Museo de Historia Natural, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (ICN-MHN).

The terminology used for the morphology, in particular for the first male gonopod, follows Smalley (1964) and Rodríguez (1992). The abbreviations cl and cb stand for carapace length and carapace breadth, respectively.

Dilocarcinus laevifrons Moreira, 1901

Dilocarcinus laevifrons Moreira, 1901: 48, pl. 1, Fig. 2.

Trichodactylus (Dilocarcinus) laevifrons, Rathbun, 1906: 66.

Poppiana laevifrons, Bott, 1969: 51, pl.11, Fig. 20 a, b, pl. 21, 51. Rodríguez, 1981: 48. Rodríguez, 1992: 121.

2. Material

Amazonas Department, Parque Nacional Natural Amaca-

yacu, Mocagua Island, 4 Apr 1989, leg. H. Castillo, 1 female, cl 16.7 mm, cb 21.1 mm (ICN-MHN-CR 0959). Amazonas Department, Corregimiento La Pedrera, Cerro Yupatí, Komeyafú Community, Guacaperiyá stream, 120 m alt., 7 Nov 1994, leg. M. R. Campos, 6 males, the largest cl 23.1 mm, cb 31.2 mm, the smallest cl 15.6 mm, cb 20.3 mm, 5 females, the largest cl 18.3 mm, cb 23.6 mm, the smallest cl 16.8 mm, cb 21.7 mm (ICN-MHN-CR 1392). Amazonas Department, Corregimiento La Pedrera, Cerro Yupatí, Uecherú stream, Komeyafú Community, 130 m, alt., 12 Nov 1994, leg. M. R. Campos, 7 males, the largest cl 19.3 mm, cb 25.5 mm, the smallest cl 12.8 mm, cb 16.3 mm, 7 females, the largest cl 28.8 mm, cb 37.5 mm, the smallest cl 14.9 mm, cb 19.0 mm (ICN-MHN-CR 1415). Amazonas Department, Corregimiento La Pedrera, Yukuna Community, Mirití River, Puerto Lago, 160 m alt., 18 Nov 1994, leg. M. R. Campos, 25 males, the largest cl 24.0 mm, cb 31.6 mm, the smallest cl 13.6 mm, cb 17.2 mm, 6 females, the largest cl 16.9 mm, cb 21.4 mm, the smallest cl 14.6 mm, cb 17.8 mm (ICN-MHN-CR 1439). Amazonas Department, Puerto Nariño, Tarapoto Lake, 3 Dec 1998, leg. I. Stephen, 1 female, cl 32.9 mm, cb 42.2 mm (ICN-MHN-CR 1760).

3. Description

(Based on 32 males and 22 females) Carapace suborbicular (Fig. 1F) with prominent, acute spine on external orbital angle. Lateral margin with 6-8 prominent, acute spines, behind spine of external orbital angle, approximately of equal size, directed anteriorly and interspine space with setae. Posterolateral ridge of carapace tuberculated, curved inwards and ends at some distance of ridge on the posterolateral angle of carapace. Front bilobed, bent downwards, but middle sinus retracted, leaving exposed middle portion of epistome in dorsal view, epistome strongly advanced, opening of efferent channels strongly arched, forming 2 well defined spouts. Orbits suborbicular in frontal view, lower orbital margin with 3-6 acute spines, decreasing in size laterally. Buccal angle with 2-3 spines. Dorsal surface of carapace convex, along antero-posterior axis, smooth, polished, covered by small papillae, regions not differentiated, epigastric lobes semicircular, anteriorly not well delimited, frontal surface flat continuous with surface of protogastric region. Postgastric pits well demarcated. Branchio-urogastric, branchio-cardiac, and brachio-intestinal grooves faintly demarcated, urogastric groove absent.

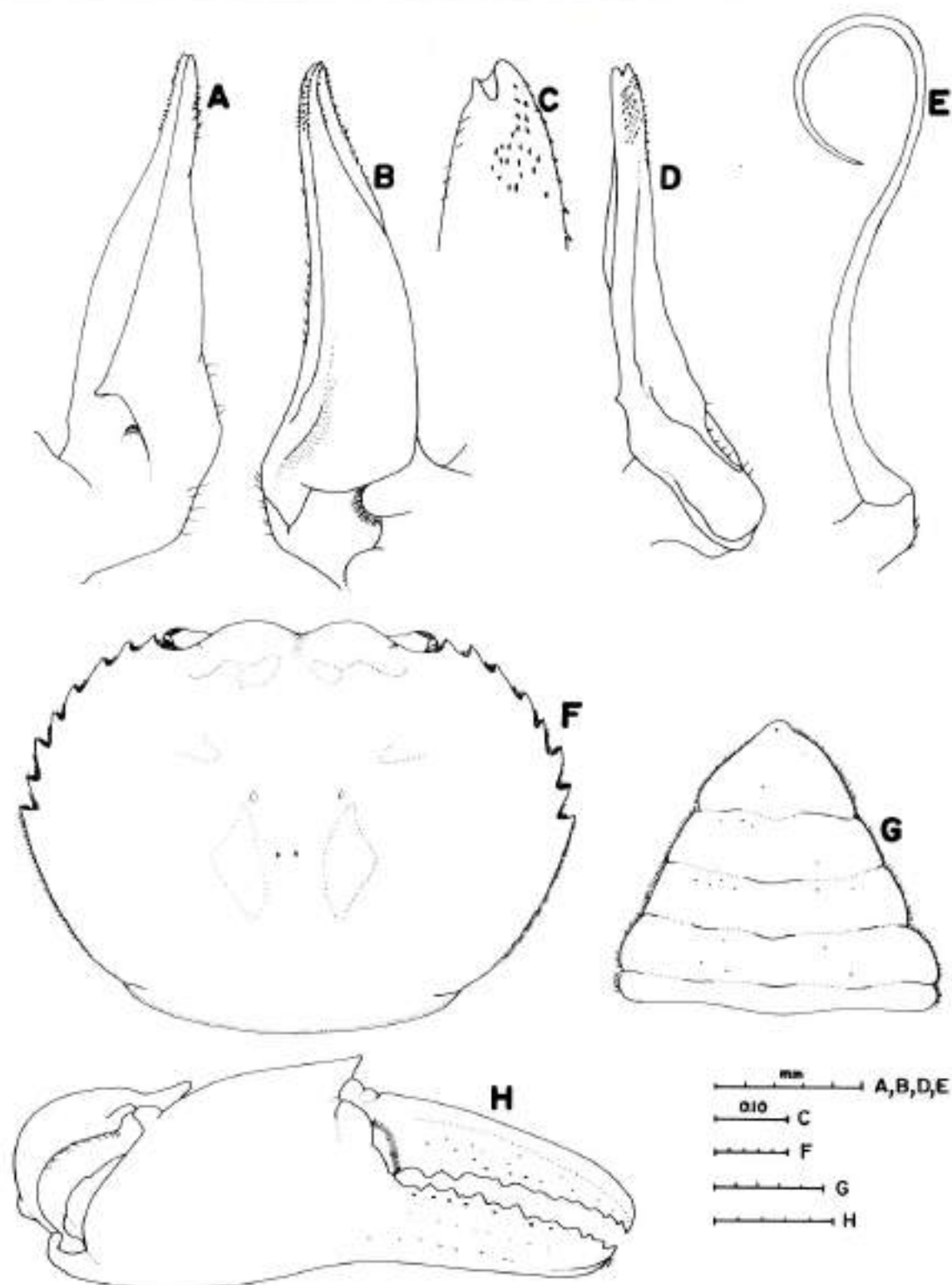


Figura 1: *Dilocarcinus laevifrons* Moreira, 1901, ICN-MHN-CR 1415, left first gonopod: A, whole gonopod, caudal view; B, whole gonopod, cephalic view; C, apex, distal view; D, whole gonopod, lateral view; E, Left second gonopod, whole gonopod, caudal view; F, carapace, dorsal view; G, male abdomen; H, cheliped, external view.

Abdominal segments 3-6 fused in male and female, but suture 3/4 still visible. Male abdomen triangular, outer margins concave, last segment with outer margin slightly convex (Fig. 1G).

First pereopods moderately unequal in males, merus with 3 median and one distal spines on external margin in females and small males, but one distal spine in large males, internal margin with one median spine, upper margin with acute distal spine, carpus with prominent, acute, distal spine on internal margin, palm of largest chela with acute spine on upper margin near articulation of dactylus, fingers enlarged approximately 1.5 the length of palm, with longitudinal ridges and not gaping when closed (Fig. 1H).

First male gonopod slender, decreasing in size to apex and regular bent laterally. Mesial side concave proximally, lateral side slightly sinuous (Fig. 1A, B, D). Lacking of lateral lobe. Cephalic surface with crest-like lobe basally (Fig. 1B). Gonopore V-shape with lateral opening (Fig. 1C). Apical translucent spines, decreasing in size distally, forming continuous patch over caudal and lateral surfaces (Fig. 1A-D). Second gonopod longer than first, bent mesially in form of question mark (Fig. 1E).

4. Remarks

The above described species is closely related to *Dilocarcinus dentatus* (Randall, 1839). They can be distinguished each other by differences in the front and in the first male gonopod. In *D. dentatus* the front is moderately bilobed, with 13-20 acute triangular teeth on its margin, whereas in *D. laevifrons* it is bilobed, but lacking of teeth (Fig. 1F). The cephalic surface of the first male gonopod in *D. laevifrons* has a crest-like lobe basally, which is not present in *D. dentatus*. The distal portion of margin is bent mesially and emerged on the caudal surface in *D. dentatus*, meanwhile it is straight in *D. laevifrons*. Finally, the gonopore in *D. dentatus* it is U-shape, has corneous ridge and a distal opening, whereas in *D. laevifrons* is V-shape, is lacking of corneous ridge, and has a lateral opening (Fig. 1C).

Acknowledgments

I am very grateful to Dr. Gilberto Rodríguez for his valuable comments. The illustration has been prepared by G. Mendonza.

Referencias

- [1] **Bott, R.** 1969. Die Süßwasserkrabben Süd-Amerikas und ihres Stammesgeschichte. Eine Revision der Trichodactylidae und der Pseudothelphusidae östlich der Anden (Crustacea, Decapoda). *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft (Frankfurt am Main)*, 518: 1-94, Fig. 1-6, pl. 1-24, 4 maps.
- [2] **Moreira, C.** 1901. Contribuições para o conhecimento da Fauna Brasileira. Crustaceos Thoracostraceos. *Archivos do Museu Nacional de Rio de Janeiro*. 11: 1-IV, 1-151, pl. 1-5.
- [3] **Randall, J. W.** 1839. Catalogue of the Crustacea brought by Thomas Nuttall and J. K. Townsend from the West Coast of North America and the Sandwich Island, with description of such species as are apparently new, among which are included several species of different localities, previously existing in the collection of the Academy. *Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 8: 106-147, pl. 3-7.
- [4] **Rathbun, M.** 1906. Les Crabes deau douce (Potamonidae). *Nouvelles archives du Muséum national d'Histoire naturelle*. (4) 8: 33-122.
- [5] **Rodríguez, G.** 1981. *Decapoda*. In **Hurlbert, S. H., G. Rodríguez & N. D. Dos Santos**, eds. *Aquatic Biota of Tropical South America, part 1: Arthropoda*. San Diego State University, San Diego California: 41-50.
- [6] **Rodríguez, G.** 1992. *The freshwater crabs of America. Family Trichodactylidae and supplement to the family Pseudothelphusidae*. *Faune Tropicale* 31: 1-189.
- [7] **Smalley, A.** 1964. A terminology for the gonopods of the American river crabs. *Systematic Zoology* 13: 28-31.

A NEW SPECIES OF THE GENUS *OSTEOCEPHALUS* (HYLIDAE: ANURA) FROM THE WESTERN AMAZON

por

John D. Lynch¹

Resumen

Lynch, J. D. : A new species of the genus *Osteocephalus* (Hylidae: Anura) from the western Amazon. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **26** (98): 289-292, 2002. ISSN 0370-3908.

Se describe una especie pequeña del género *Osteocephalus* del sudeste de Colombia y Perú adyacente. Con esta descripción, el género *Osteocephalus* queda cada vez peor definido.

Palabras clave: Especie nueva, ranas, taxonomía

Abstract

A small *Osteocephalus* is described from southeastern Colombia and adjacent Peru. With its description, the genus *Osteocephalus* continues to become less and less well-defined.

Key words: Frogs, New Species, Taxonomy

Introducción

In 1999, I had the opportunity to make herpetological collections on the Río Puré, just inside the Colombian-Brasilian frontier, and there collected a treefrog species that I did not recognize. Subsequent study of the sample convinced me that this was a species not known. During a brief visit to the University of Kansas in July 2000, Bill Duellman showed me a specimen of a treefrog from Perú that he did not recognize but which I identified as one I had collected in Colombia on the Río Puré. During our collections for tadpoles in the *trapezoido amazonico co-*

lombiano in 2001-02, I managed to collect a single female of the same species.

The frog in question, which I initially assigned to the genus *Hyla*, must be a species of the "phenetic" genus *Osteocephalus*. *Osteocephalus*, under the criteria of the phylogenetic analysis of **da Silva** (1998), must represent some sort of biological illusion, because **da Silva** concluded that the genus is paraphyletic with respect to the casque-headed tree frogs (the genera *Aparasphenodon*, *Trachycephalus*, and *Tripidon*, among others). *Osteocephalus*, as recognized by **Goin** (1966) and **Trueb & Duellman** (1971), was a genus defined in part by the

¹ Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

presence of lateral vocal sacs, and thus related to *Phrynohyas* and *Trachycephalus*. Trueb (1970) viewed the exostosis of cranial bones and coossification of the skin of the head and skull bones as features which had been achieved independently in various lineages of tree frogs whereas da Silva (1998) decided that these represented, within the Hylinae, evolutionary novelties.

Da Silva (1998) did not include vocal sac architecture as one of his characters but this character must represent some sort of homoplasy, given his cladogram. The position of Trueb & Duellman (1971) that these paired vocal sacs are restricted to a [nonphyletic] group consisting of the genera *Argenteohyla*, *Osteocephalus*, *Phrynohyas*, and *Trachycephalus*, is likewise in error because one of the three species of *Aparasphenodon* (*A. venezolanus*) shares this character (Lynch & Vargas, 2000; Paolillo & Cerda, 1983).

Working in the northern Andes these past 35 years allowed me to make an unjustified assumption/conclusion, that the fauna of the lowlands was well-known. Fieldwork in SE Colombia between 1999 and 2001 has dispelled my illusions. Ángela Suárez and I have collected no fewer than 64 species of frogs in the immediate vicinity of Leticia in only 60 days of fieldwork. One of these species is the subject of the present report.

Materials and methods

The specimens studied are housed in the collection of the Instituto de Ciencias Naturales (ICN) and the University of Kansas Museum of Natural History (KU). Terminology follows Duellman (2001). In the text, the following abbreviations are used: E-N, eye nostril distance; HW, greatest head width; IOD, interorbital distance; SVL, snout-vent length. When sample size permits, means are reported as ± 1 standard error of the mean.

Osteocephalus heyeri sp. nov.

Figura 1

Holotype: ICN 46916 (field number JDL 23466), an adult female obtained by John D. Lynch 8 January 2002.

Paratypes: ICN 46522-528, 46888, collected by J. D. Lynch, at the Río Puré campamento, municipio Leticia, Colombia, 02° 07' 05" S, 69° 37' 50" W, Dec., 19-21, 1999, KU 220885, Quebrada Grande, near junction of Río Sucusari and Río Napo, Depto. Loreto, Peru.

Type-locality: COLOMBIA, AMAZONAS, municipio Leticia, Km 18.5 carretera Leticia-Tarapacá y 1.5 km SE carretera a Nazareth, reserva "Aguasclaras", 04° 05' 02" S, 70° 00' 39" W.

Diagnosis: An *Osteocephalus* with nearly smooth skin dorsally (slightly more tuberculate in males than in females), subgular vocal sacs, green bones, protruding snout, minimal webbing of the fingers, nuptial excrescences in males, and of small size, males 31.0-36.1 (\bar{x} = 33.1 \pm 0.6) mm, females 42.8-47.7 mm SVL.

Description: Body slender, narrower than head in males, as wide as head in gravid females; snout short, protruding beyond margin of upper jaw in dorsal and lateral views; nostrils protuberant, directed laterally with prominent internarial depression; *canthus rostralis* curved, rounded in section; loreal region slightly concave; top of heads flat (no cranial crests); supratympanic fold relatively prominent, obscuring uppermost edge of tympanum; tympanic annulus strong; tympanum directed dorsolaterally with slight posterior vector, separated from eye by less than tympanic length; choanae large, ellipsoidal; vomerine dentigerous processes long, narrowly separated medially, curving posterolaterally, bearing 6-12 teeth each (mean 9.2), ending at level of posterior edge of choanae; tongue wider than long, without posterior notch, posterior edge not free from floor of mouth; vocal slits short, just medial to posterior end of mandible; vocal sac median, subgular, single (or perhaps bifid).

Forearm slender, lacking ulnar fold or tubercles; thenar tubercle oval, somewhat larger than bifid palmar tubercle; numerous supernumerary tubercles on palm, none distal to basal subarticular tubercles; basal subarticular tubercles subconical, distal tubercles non-conical; distal subarticular tubercle of finger IV bifid; fingers bearing lateral fringes, including along lateral border of finger IV; disks large (that of finger III nearly covers tympanum) on all digits (least so on thumb); first finger shorter than second; webbing formula II (2-2+) - (3-3+) III (2 4/5-3+) - (2 3/4-2 4/5) IV; thumb of males swollen, bearing patch of fine spinules (nuptial excrescence) on median edge of thumb and thenar tubercle. Hindlimbs slender; small tubercles on upper edge of heel; tarsus lacking tubercles or folds; inner metatarsal tubercle oval; outer metatarsal tubercle small, round, not pungent; supernumerary plantar tubercles present, not extending distal to basal subarticular tubercles; subarticular tubercles non-conical, simple; disks of toes narrower than those of fingers; toe webbing I (1-2+) - (2-2+) II (1-1 1/3) - (2+2 1/3) III (1-1 1/2) - (2+2 2/3) IV (2-2+) - (1-1 1/4) V.

Skin of dorsum in males finely tuberculate (not spinulate), that of females appears smooth but under magnification bears a tuberculation similar to but less dense than in males. Skin of flanks and venter areolate.

In preservative, brown above, usually with large cream blotches on the dorsum (Fig. 1); limbs cream with dark



Figura 1. Upper left: *O. cabrerai*, ICN jdl22733; upper right, *O. heyeri*, male, ICN 46522; lower left, *O. heyeri*, female, ICN 46528; lower right, *O. heyeri*, female holotype, ICN 46916.

brown bars; flanks and thighs dark brown with white spots edged in black; venter cream with brown spots, on throat (most) or not, sometimes forming loose reticulum on venter; cream stripe along upper lip; posterior surfaces of thigh brown; males have fewer pale spots on flanks and thighs, those of flanks tend to be larger than in females; palpebrum clear except for pigment along its upper edge and on the anterior 1/5.

In life, brown to reddish-brown above with darker markings, outlined with cream in holotype (otherwise only the interorbital triangle is outlined with cream); pale blotches on dorsum (when present) orange to tan; subocular spot dirty tan; flanks and concealed surfaces of limbs dark brown to black with white or yellow spots in males, spots pale blue in females; throat and anterior venter cream, spotted with brown, lower venter brown; iris very dark gray (almost black). Bones are green.

Measurements of holotype in mm. – SVL 42.8, shank 21.9, HW 14.3, HL 14.0, chord of head length 14.5, upper eyelid width 3.9, IOD 3.5, tympanum length 2.8, eye length 4.5, E-N 4.2.

Proportions (in percents). Males (N = 7). Shank/SVL 48.4-54.5, $\bar{x} = 50.9 \pm 0.8$, HW/SVL 32.8-37.1, $\bar{x} = 35.1 \pm 0.6$, upper eyelid/IOD 105.4-137.9, $\bar{x} = 119.6 \pm 4.4$, tympanum/eye 45.8-63.9, $\bar{x} = 56.0 \pm 2.2$, E-N/eye 76.7-91.9, $\bar{x} = 85.1 \pm 2.1$. Females (3). Shank/SVL 50.7-52.1, $\bar{x} = 51.3$, HW/SVL 32.1-33.4, $\bar{x} = 33.0$, upper eyelid/IOD 111.4-141.2, $\bar{x} = 124.2$, tympanum/eye 56.6-62.2, $\bar{x} = 60.4$, E-N/eye 92.4-97.8, $\bar{x} = 94.5$. The samples are inadequate but it appears that females have longer snouts than do males.

Natural history. I have collected *O. heyeri* on only three occasions. On the nights of 19 and 21 December 1999, specimens were found on low vegetation in a

seepage in primary rainforest. On each occasion, both males and females were found but no notes of calling were made. All frogs were found within 50 cm of the ground. The holotype was found perched on a palm leaf 2 meters above the ground in primary rainforest 8 January 2002. All three females are gravid. No female was found associated with bromeliads.

At the Río Puré site, *O. heyeri* is macrosympatric (= individuals were found within 1 km of each other) with *O. buckleyi*, *O. cabrerai*, *O. lepricouri*, *O. taurinus*, and *O. yasuni*. At the type-locality, it was sympatric with *O. planiceps* and *O. taurinus*.

Etymology: Named for my good friend, William Ronald Heyer, curator of Amphibians and Reptiles, in the National Museum of the United States, for his prescience to publish his opinion that the Amazonian fauna was inadequately known, a position that I rejected initially but now accept. The only thing inappropriate about the etymology is that this is one of the smallest *Osteocephalus* known (only *O. rodriguezii* is smaller) and Ron is anything but small.

Discussion

The descriptions of new species (Jungfer & Schiesari, 1995; Jungfer et al., 2000; Ron & Pramuck, 2000) and the belated acknowledgment that the wholesale synonymizing of names by Truett & Duellman (1971) was an error (Duellman & Mendelson, 1995) have altered substantially our concept of *Osteocephalus* as defined by Truett & Duellman (1971). Assuming that da Silva's (1998) phylogenetic analysis is approximately correct, we must recognize that *Osteocephalus* is an error (that is, it is paraphyletic). Da Silva (1998) may be correct but my reading of his thesis suggests to me that his conclusions are the result of a lack of concern that many of his characters are interdependent – this criticism applies especially to his casque-headed "clade" which includes *Osteocephalus*.

I doubt that *O. heyeri* is part of the presumed clade of oophagous species found in the western Amazon (*O. deridens*, *O. fuscifascies*, and *O. oophagus*) but am not willing to venture a hypothesis concerning its nearest relative (although *O. rodriguezii* strikes me as a plausible choice).

Osteocephalus cabrerai (Fig. 1) likewise lacks paired vocal sacs and seems remote from the species usually assigned to the genus. This species is strongly associated with streams, unlike typical *Osteocephalus*.

Acknowledgments

I thank Jorge Canchala of CORPOAMAZONIA for facilitating permits. During the course of these collections, I enjoyed field companionship of Tomás Defler, Estebán and Santiago Melendez, and Ángela Suárez. Directors of IMANI (Santiago Duque, Germán Palacios, and Carlos Zárate) made available facilities at the Leticia campus. My fieldwork in Amazonas has greatly benefited from the good offices of Héctor (Sancocho) Castillo, William E. Duellman permitted me to examine and report a specimen collected from Peru. Partial support for fieldwork was provided by funding from the DIB (803649).

Literature cited

- Da Silva, H. R. 1998. Phylogenetic relationships of the family Hylidae with emphasis on the relationships within the subfamily Hylinae (Amphibia: Anura). Unpublished doctoral dissertation, University of Kansas.
- Duellman, W. E. 2001. Hylid frogs of Middle America, 2nd edition. Society for the Study of Amphibians and Reptiles.
- Duellman, W. E. & J. R. Mendelson III. 1995. Amphibians and reptiles from northern Departamento Loreto, Peru: taxonomy and biogeography. The University of Kansas Science Bulletin 55: 329-376.
- Goin, C. J. 1966. Synopsis of the genera of hylid frogs. Annals of the Carnegie Museum 36: 5-18.
- Jungfer, K. H., S. Ron, R. Seipp, & A. Almendáriz. 2000. Two new species of hylid frogs, genus *Osteocephalus*, from Amazonian Ecuador. Amphibia-Reptilia 21: 327-340.
- Jungfer, K. H. & L. C. Schiesari. 1995. Description of a central Amazonian and Guianan tree frog, genus *Osteocephalus* (Anura, Hylidae), with oophagous tadpoles. Alytes 13: 1-13.
- Lynch, J. D. & M. A. Vargas Ramírez. 2000. Lista preliminar de especies de anuros del Departamento del Guainía, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Ciencias Exac. Fís. Nat. 24 (93): 579-589.
- Paolillo, O. A. & J. Cerda. 1983 ("1981"). Nuevos hallazgos de *Apuraspheumdon venezolanus* (Mertens) (Amphibia, Hylidae) en el territorio federal Amazonas, Venezuela, con anotaciones sobre su biología. Memoria Sociedad de Ciencias de La Salle 41 (115): 77-95.
- Ron, S. & J. B. Pramuck. 1999. A new species of *Osteocephalus* (Anura: Hylidae) from Amazonian Ecuador and Peru. Herpetologica 55: 433-446.
- Truett, L. 1970. The evolutionary relationships of the casque-headed treefrogs with co-ossified skulls (family Hylidae). Univ. Kansas Publ. Mus. Nat. Hist. 18: 547-716.
- Truett, L. & W. E. Duellman. 1971. A synopsis of Neotropical hylid frogs, genus *Osteocephalus*. Occasional Papers of the Museum of Natural History/ the University of Kansas/ Lawrence, Kansas (1): 1-47.

PALABRAS PRONUNCIADAS POR EL PRESIDENTE DE LA ACADEMIA DURANTE LA INSTALACIÓN DE LA REUNIÓN DE LA JUNTA DIRECTIVA DE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA DEL CARIBE (CCC). Noviembre 23 de 2001.

Permítanme expresarles el más cordial saludo de bienvenida a Colombia y a esta ciudad tras el objetivo, por todos los aquí presentes compartido, de trabajar por el fortalecimiento de la Comunidad Científica del Caribe y dar comienzo al desarrollo de Programas para que ello sea una realidad.

La Academia Colombiana de Ciencias los recibe y acoge con sentimientos de la más profunda fraternidad y el firme convencimiento de que sólo trabajando de consuno, podemos alcanzar el objetivo de contribuir a fortalecer la capacidad científica de nuestros países, tan necesaria para abordar los problemas cada vez más complejos del presente y de los que sobrevendrán en el futuro. Si lo logramos habremos contribuido a crear las bases para el bienestar general de nuestros conciudadanos.

Pero no debemos olvidar que todavía nos falta mucho por hacer para que, quienes deberían ser los protagonistas de los procesos encaminados a tan elevado propósito, comprendan y tengan plena conciencia del papel que corresponde al conocimiento científico en la solución de tales problemas. En particular, del conocimiento científico que nosotros mismos ya seamos capaces de generar, tras el escudriñamiento sistemático y metódico de nuestras realidades naturales, ambientales, socioeconómicas, históricas, políticas y culturales, condición a la vez indispensable para el diseño de un modelo de desarrollo sostenible de inspiración endógena.

Por lo anterior, considero de la más alta prioridad realizar esfuerzos dirigidos a que la ciudadanía y, en particular, nuestros dirigentes, tengan plena conciencia de la manera cómo el desarrollo exponencial del conocimiento científico ha sido el factor que ha incidido con mayor intensidad, en la calidad de la vida de las sociedades que lo crean y utilizan.

Por lo mismo, para los países que aún les falta mucho por hacer para fortalecer la capacidad científica propia, tan intenso y acelerado desarrollo del conocimiento ha significado la profundización de la brecha que los separa de los llamados países desarrollados y cada vez mayor dependencia económica de estos mismos países.

Por lo mismo, en lo que concierne a nuestros países, más pronto que tarde tenemos que continuar esforzándonos por el fortalecimiento de la calidad de la educación, en todos sus niveles, en especial, de los sistemas de formación de nuevas promociones de científicos, así como por robustecer la investigación científica participativa y solidaria que permita elevar la eficacia de las acciones y ampliar las estrategias mediante la colaboración entre países que como los nuestros, pese a los avances consolidados en los últimos años, tenemos todavía muchos vacíos por llenar.

En el siglo XXI será cada vez más necesario convencer a los gobiernos de los países de la región del Gran Caribe sobre la necesidad de adoptar una política dirigida a promover programas de cooperación, que sin dejar de tener en cuenta las realidades y problemas de cada país, promueva el surgimiento en la región de modelos de desarrollo de inspiración endógena que hagan posible crear capacidad científica que nos permita abordar y solucionar los problemas comunes.

Entre otros, por ej., las políticas de cooperación deben dirigirse a que los países de la región, con fundamento en los conocimientos científicos logrados sobre sus recursos y potencialidades, desarrollen nuevas tecnologías y medios de producción que enriquezcan nuestros recursos naturales con el "valor agregado" del conocimiento.

Teniendo en cuenta las responsabilidades que en tal proceso conciernen a los educadores de todos los niveles

se deben poner en práctica políticas dirigidas a estrechar los nexos entre las Instituciones de todos los niveles del Sistema Educativo y crear redes para las distintas disciplinas del saber, en referencia a toda la región.

Como ha sido destacado en las conferencias regionales de UNESCO, a las Instituciones de Enseñanza Superior de los países en desarrollo, corresponde papel protagónico en el proceso de mejoramiento de la calidad de todo el sistema educativo así como en la promoción de las capacidades endógenas. En esos mismos certámenes se ha destacado la necesidad de establecer organizaciones intergubernamentales, en regiones afectadas de problemas similares, como es también el caso de la región del Gran Caribe.

Con toda razón en nuestras reuniones efectuadas en la ciudad de La Habana, y en Cartagena de Indias, nos comprometimos a trabajar de consuno en la integración de esfuerzos y acciones que permitan compartir, las capacidades ya existentes en nuestros respectivos países y así extender sus beneficios a toda la región del Gran Caribe.

Para dar cumplimiento a tal compromiso estuvimos de acuerdo sobre la necesidad de formular recomendaciones a los gobiernos en cuanto a la definición de políticas nacionales, regionales e internacionales, de desarrollo de la ciencia y la tecnología y de impulso a la innovación tecnológica.

El mismo compromiso significa también que realicemos proyectos sustantivos de cooperación encaminados a dar respuesta a las principales necesidades de los países de la región. Debemos comenzar por identificar posibles fuentes de financiación y por obtener facilidades materiales suficientes, así como la asesoría especializada para el mismo fin.

Se pensó que es necesario que los Gobiernos de los países de la región, aporten al mínimo, el 1% del gasto público, destinado al financiamiento de actividades de investigación y desarrollo en ciencia y tecnología, sin menoscabo de los aportes actuales de los Gobiernos a las universidades y a otras entidades públicas.

Desde luego, los Estados tienen que implementar los objetivos y acciones ya mencionadas, mediante el mejoramiento de la calidad de la enseñanza de las ciencias naturales y sociales; así como de la formación de nuevas promociones de científicos, incluyendo la capacitación a través de maestrías y doctorados.

Para todo ello se requiere promover el intercambio de docentes, estudiantes e investigadores y fortalecer así la capacidad científica de los países del Caribe.

Al mismo tiempo, mediante la ayuda mutua de nuestros países, tenemos que implementar "centros" de investigación científica y tecnológica altamente calificados para el estudio y solución de problemas o el aprovechamiento de potencialidades presentes en un determinado lugar de nuestra región. Se requiere también promover proyectos conjuntos a corto y largo plazo de investigación científica, dirigidos al mejoramiento de la producción económica sostenible, mediante el apoyo financiero de los gobiernos de los países involucrados.

En síntesis, la Comunidad Científica del Caribe, requiere de la colaboración de los Gobiernos de los respectivos Estados, para complementar los programas regionales de ciencia, tecnología y educación, que decida adelantar, tras el logro de los objetivos para los cuales fue establecida.

Considero que entre tales programas, debería dar prioridad a los siguientes:

- Programas de Construcción de Capacidad Científica Regional, ejecutables, mediante la creación de Redes de Cooperación entre universidades y entidades de educación científica estatales e industriales, que promuevan la cooperación de científicos de las Ciencias Naturales y Sociales y de las diferentes tecnologías o ingenierías.
- Fortalecimiento de la comunicación e información entre la Comunidad Científica, el estado y los responsables de las decisiones de los sectores productivos, para lograr el diseño de proyectos de investigación aplicada.
- Programas de formación en los niveles básicos, secundario y universitario, dirigidos a estudiantes y a Maestros, fundamentados en el principio de la internalización de los métodos de la Ciencia y de la cultura científica en el sistema educativo.

Desde el punto de vista operativo, esto implica dar prelación a la "contextualización" de los conocimientos científicos universales ya disponibles con las realidades de nuestros entornos locales y regionales, a través de la confrontación de los conocimientos disponibles con tales realidades.

Esto con el fin de valorar la fuerza explicativa de tales conocimientos y si es o no necesario complementarlos, ampliarlos o sustituirlos por nuevos conocimientos que precisa crear para lograr la comprensión de los fenómenos y realidades de entornos tan particulares, como los de nuestra región. Esto pone en evidencia los alcances y beneficios y realidades de la creación científica y muestra la necesidad de mejorar en tal sentido la calidad de la educación.

Programas, en fin, de "Difusión de la Ciencia", dirigidos, a la concientización del público, en general, sobre la importancia de la ciencia y de sus aplicaciones para consolidar el bien común.

Esta es también la filosofía en la cual se apoya el Proyecto presentado a la ICSU con el objeto de lograr su apoyo financiero y que se discutirá, según está previsto, en desarrollo de la Agenda de Trabajo de esta reunión.

Bienvenidos a esta reunión, Señores Miembros de la Junta Directiva de la Comunidad Científica del Caribe. Estoy seguro que con la colaboración de todos uds. las reflexiones y análisis que se efectúen en desarrollo de los temas contemplados en la agenda que me permití someter su consideración, esta reunión significará un paso hacia adelante en el fortalecimiento de la comunidad y de sus objetivos, comenzando por aquellos a los cuales me he referido en estas palabras a modo de introducción.

COMUNIDAD CIENTÍFICA DEL CARIBE

Acta No. 01/2001

Reunión Junta Directiva

Los días 23 y 24 de noviembre de 2001, se celebró en Bogotá – Colombia, la reunión de la Junta Directiva de la Comunidad Científica del Caribe (CCC).

Asistentes: Luis Eduardo Mora Osejo, Presidente Harold Ramkissoon, Vicepresidente, Francisco Guzmán Pasos, Tesorero, Mario Bonetti, Vocal e Ismael Clark Arxer, Secretario.

Como invitados participaron: José A. Lozano – Colombia, Mariano José Vargas – Nicaragua, Sergio José Pastrana – Cuba y Ricardo Salazar – Colombia.

AGENDA

1. Discusión del plan de actividades de la CCC para los próximos dos años.
 - a) Elaboración del texto de una petición dirigida a los organismos decisorios de los Estados del Caribe que forman parte de la CCC sobre la necesidad de conceder a la ciencia y la tecnología la prioridad que se merecen como campos de acción imprescindibles para el desarrollo integral de los respectivos países, en particular, en lo que concierne a la educación y al fortalecimiento de los sectores económico, de la salud y de la cultura, en general.
 - b) Elaboración de un plan de intercambio de profesores e investigadores de las ciencias, exactas, naturales y humanas para fortalecer programas de investigación de mejoramiento de la calidad de enseñanza en los niveles: básico, medio y superior.

- c) Creación de una revista científica de la CCC.
 - d) Realización de un ciclo de conferencias itinerante que cubra los países del área del Gran Caribe, sobre temas en los cuales el país del conferencista haya logrado un desarrollo científico o tecnológico descollante.
 - e) Revisión del proyecto sobre el establecimiento de una red de institutos para el mejoramiento de la capacidad científica de los países del Caribe para presentar a ICSU (debe ser presentado, a más tardar, en marzo del 2002, para financiación en el 2003).
 - f) Realización de un encuentro interdisciplinario con participación de las ciencias exactas, naturales, económicas y sociales sobre "Conocimiento Científico vs. Sostenibilidad", de manera que la CCC pueda contribuir con una ponencia en la reunión de Johannesburgo: Río más diez.
2. Plan de promoción y ampliación de la membresía de la CCC.
 3. Vinculación de la CCC a organismos internacionales de carácter científico y cultural, tales como UNESCO, ICSU, IAP.
 4. Identificación de posibles fuentes de financiación para desarrollar las actividades anteriores.
 5. Asuntos generales.

ACUERDOS

1. Se aprueba la agenda de la reunión.

2. Los Dres. Lozano y Vargas redactarán un proyecto de acuerdo especial para someter a la Junta Directiva.
3. Las instituciones miembros de la CCC comunicaran a los Dres. Clark y Guzmán hasta el 31-01-02 las capacidades y posibilidades de intercambio en el seno de la CCC y a partir de esas contribuciones se prepara un documento por ellos que será presentado a las instituciones miembro antes del 31-03-02.
4. Los Dres. Ramkissoon, Vargas y Bonetti constituyen un comité para elaborar las ideas para la creación de una revista y un boletín de la CCC, de acuerdo con las líneas recogidas en los minutos de esta reunión y presentarán una propuesta a los miembros de la Junta Directiva antes del 31-03-02.
5. Se revisó el proyecto presentado al ICSU y se acordó reformularlo. Cada institución miembro comunicará sus intereses para el nuevo proyecto al Presidente. El Dr. Ramkissoon ayudará en la redacción final del documento con la ayuda de expertos en este tema, para poder evaluarlo por las instituciones miembros y hacer su presentación antes de la fecha tope al ICSU.
6. Los países miembros harán llegar al Secretario los criterios de sus respectivas comunidades científicas sobre el tema de conocimiento científico y sostenibilidad con el objetivo de redactar una posición común de la CCC sobre el tema a los efectos de presentarla ante la Conferencia Cumbre de Johannesburgo.
7. Se continuará trabajando en contacto con las demás instituciones que potencialmente puedan ser miembros para continuar ampliando la CCC.
8. El Dr. Ramkissoon preparará un borrador de plegable divulgativo y lo circulará a los miembros de la Junta Directiva antes del 31-12-01 para su publicación en la Academia Colombiana de Ciencias.
9. La Presidencia de la CCC hará gestiones con OEA, TWAS, UNESCO, ICSU e IAP con el fin de establecer vínculos formales en estas organizaciones.
10. Los miembros de la CCC enviarán a la Secretaría información sobre los intereses de proyectos y posibles fuentes de financiamiento para establecer los posibles primeros proyectos multilaterales de interés común.
11. Se acuerda celebrar la próxima reunión de la Asamblea en Santo Domingo en la última semana de noviembre de 2002.
12. Se aprueba el Acuerdo de Bogotá, que se adjunta al Acta.

LUIS EDUARDO MORA OSEJO
Presidente

FRANCISCO GUZMÁN PASOS
Tesorero

ISMAEL CLARK ARXER
Secretario

HAROLD RAMKISSOON
Vicepresidente

MARIO BONETTI
Vocal

PENSAR LA VIDA¹

La vida es quizás uno de los fenómenos naturales más singulares que ocurren en nuestro planeta cuyo conocimiento racional y objetivo, por múltiples circunstancias, entre ellas, motivaciones culturales y religiosas, permaneció por mucho tiempo estancado y envuelto en el mis-

terio. Solamente a comienzos del siglo XIX nació la Biología como disciplina científica unitaria, cuando el zoólogo francés **Jean Baptiste Lamarck** (1744-1829) concluyó que todos los seres vivos metabolizan, se desarrollan, crecen, se reproducen, heredan caracteres de los

¹ Palabras pronunciadas por el presidente de la Academia el 18 de octubre de 2001 en Cali durante el encuentro: Filosofía y Medio Ambiente.

respectivos progenitores y evolucionan. Siempre rodeados por un entorno propicio, con el cual permanentemente interactúan.

En efecto, se trata de funciones compartidas por todos los organismos, cuya interacción conjunta hacia el interior del organismo o hacia el entorno constituye la dinámica de la vida. Desde cuando Lamarck en su *Philosophie Zoologique* (1809) dio a conocer esta teoría, la Biología constituye una disciplina independiente y autónoma de las Ciencias Naturales, en particular, con respecto a la Física y a la Química, de las cuales se diferencia tanto en los aspectos metodológicos como conceptuales.

Pero, a pesar de los sorprendentes avances y múltiples intentos que desde antaño ha efectuado el hombre por responder a la pregunta: ¿Qué es la vida? las conclusiones no siempre han resultado satisfactorias. Así provengan de intentos de inspiración holística o reduccionista. Estas últimas procedentes de la Física y, en particular, de los estudios sobre sistemas físicos simples, desprovistos de propiedades emergentes, en contraste con los sistemas biológicos, complejos. Además, sin tener en cuenta que la vida es un fenómeno dinámico, complejo, que desde su aparición ha tenido un desenvolvimiento histórico igualmente complejo.

Con razón **Mahner & Bunge** (1997) afirman que el "misterio" que se ocultaba tras la pregunta: ¿Qué es la vida? Comenzó a esclarecerse solamente al finalizar el siglo XX, mediante la interacción dialéctica de las disciplinas de la Biología Organísmica y de la Biología Molecular, en coincidencia con la superación, en el transcurso del siglo pasado, de las aproximaciones vitalistas y mecanicistas.

Como es conocido, según el vitalismo, los organismos, se distinguen, por ser entidades especiales, inmateriales, a modo de entelequias, con tendencias a perseguir metas, a adoptar formas globales especiales o, a generar impulsos particulares.

Por otra parte, dentro del mecanicismo se pueden distinguir dos versiones; la versión mecánica y la versión físico-química.

De acuerdo con la versión mecánica extrema, los organismos representan sistemas análogos a las máquinas, en coincidencia con el pensamiento de **René Descartes** (1596-1650). Mientras que según el mecanicismo moderado, los organismos pueden ser descritos como máquinas formales, diferenciadas según el organismo, aunque siempre coincidentes con los autómatas autorreproducibles de **von Neumann**. Según la versión físico-química los organismos son equiparables a sistemas físicos o a

sistemas químicos, o también, a sistemas fisicoquímicos complejos.

En cambio, como lo expone **Bunge** (1979) la visión biosistémica reconoce el fenómeno del "bios" como un nivel emergente del sistema químico. De acuerdo con esta visión las unidades sistémicas, para cualquiera de las disciplinas biológicas, son los organismos, inmersos en un medio ambiente, con el cual interactúan permanentemente. El organismo como tal, está integrado por subsistemas moleculares, celulares, orgánicos interactuantes. Del mismo modo, los organismos se integran en supersistemas: poblaciones, comunidades y ecosistemas también actuantes entre sí y con el entorno.

Por supuesto, las unidades de la Biología u organismos constituyen totalidades. Principio no siempre aceptado, sobre todo mientras predominó la influencia del mecanicismo y con éste la del reduccionismo.

La visión sistémica de la vida, es sustentada, entre otros autores, por **Bertalanffy** (1968); **Wuketits**, (1978), **Mayr**, (1996) y **Mahner & Bunge** (1997). De acuerdo con esta visión, la vida como tal sería una propiedad emergente de un sistema complejo de cierta composición y estructura, inmerso e interactuante con un entorno apropiado.

Las funciones biológicas o biofunciones, llevan implícitas ciertas connotaciones teleológicas, al punto que la palabra función puede ser reemplazada por la palabra propósito, sin que se modifique sustancialmente su significado.

La noción de biofunción contribuye a esclarecer los significados de los términos "adaptación" y "adaptabilidad" ambos diferentes del concepto "adecuación" o "fitness", como lo llamara **Charles Darwin**, (1809-1882) en su obra "On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of favored Races in the Struggle for Life (1859).

El término "adaptación" da por sentado que el ser vivo o biosistema no puede existir sino inmerso en un entorno o "habitat", con el cual interactúa. Concepto este último estrechamente relacionado con el de "medio-ambiente", como lo exponen **Mahner & Bunge**, (1997). Por consiguiente, cuando se afirma que un organismo está adaptado, por ej. al habitat "humedal" quiere decir, que puede sobrevivir y reproducirse exitosamente si interactúa con un medio cuyas condiciones coinciden con las de un humedal. Por consiguiente, la adaptación no es puntual, es un concepto fenomenológico. No tiene que ser necesariamente un determinado humedal, aunque sí tiene que cumplir las condiciones de dicho hábitat.

En cambio, la *adaptabilidad* se refiere al ajuste de los organismos a un hábitat, de por sí sujeto a cambios. También en este caso suele hablarse de adaptaciones fisiológicas, de ajustes fenotípicos, de aclimataciones o modificaciones que pueden ser reversibles o irreversibles. Por ej., los seres humanos, entre otros mamíferos, pueden adaptarse a las grandes alturas, mediante el incremento del número de eritrocitos para compensar el decrecimiento de la concentración del oxígeno del aire a medida que la altura s.n.m. del hábitat aumenta.

Muchas plantas cambian de forma según la altura del hábitat. También algunos peces cambian de colores, según las condiciones del hábitat. La plasticidad fenotípica contribuye a determinar el grado de adaptabilidad de un organismo. En este caso, el término "adaptación" encierra la noción de estado de ajustamiento de un organismo a su ambiente. En este sentido, el significado de adaptación coincide con el de adecuación o con el de "fitness" de Darwin.

Este concepto se refiere a la propiedad de equilibrio entre el sistema complejo: organismo-ambiente. Propiedad que puede ser alterada por los cambios del organismo o también en una o más componentes del respectivo ambiente, o de ambos. Por lo mismo, la noción de adaptabilidad presupone actividad del organismo y dinámica del hábitat.

La adaptación, en este sentido, tiene mucho que ver con el papel de la "selección natural", engendradora, de adaptación en el sentido de "fitness", equivalente a ajustamiento al hábitat, en el sentido de Darwin y por ende, con el concepto de éxito reproductivo. Ambos de particular relevancia para el proceso de la evolución, según la teoría de Darwin.

En síntesis, bajo este significado, la adaptación es un indicador del estado de ajuste de un organismo a las características del medio ambiente.

Recordemos que todavía a lo largo del siglo XVIII, predominó el dogma de "la constancia de las especies de los organismos". Fue a comienzos del siglo XIX, cuando también Lamarck (1809), propuso la teoría, según la cual las especies de organismos existentes, provenían de otras especies ya desaparecidas. Con este enunciado se proponía, por primera vez, la teoría de la evolución, fortalecida años más tarde por Charles Darwin, (1859), quien además formuló una teoría completamente nueva y original sobre las causas del fenómeno. Es decir, la teoría de la "variabilidad heredable de los organismos, responsable de la diversidad de los mismos, sobre la cual actúa la "se-

lección natural", ejercida por las condiciones del ambiente que "selecciona" los variantes individuales más aptos.

En la década de los años 30 del siglo XIX Schleiden (1838) y Schwann (1839) fundaron la "Teoría celular" y años más tarde, Virchow, anunciaba el principio que marcó un hito en la historia de la Biología: "Omnis cellula e cellula". Desde entonces, la célula pasó a ser considerada como la unidad fundamental de toda forma de vida.

Durante el pasado Siglo XX, las investigaciones biológicas, bajo la visión de la teoría de la evolución y de la teoría celular, se orientaron a indagar por el origen de la vida, al tiempo que surgieron nuevas disciplinas experimentales y teóricas; tales como, la Bioquímica, la Genética, la Teoría de Sistemas y de la Información. Los estudios efectuados en estos campos, entre otros, permitieron ganar nuevos puntos de vista y extender las ideas de Darwin hacia la búsqueda de una explicación sobre el origen de la vida. Por otro lado, el conocimiento de las propiedades de la materia, demostró ser una condición importante para la comprensión de los sistemas vivientes.

Entre las contribuciones sobre el origen de la vida, merece destacarse, la del bioquímico alemán Manfred Eigen (1973) autor de la "Teoría del Hiper ciclo". Eigen (l.c.) partió del principio, según el cual, todas las células vivas contienen moléculas de proteínas y ácidos nucleicos. Estos compuestos evolucionaron en estrecha interrelación. La interacción entre ambas clases de moléculas conduce a un sistema estable; pero siempre y cuando la capacidad catalítica de la molécula de proteína se mantenga y utilice en la reducción al mínimo de las fallas en la replicación de las moléculas de ácidos nucleicos. De otra parte, la secuencia de nucleótidos debe contener la suficiente información para la síntesis de la molécula de proteína. Eigen (l.c.) calculó la probabilidad estadística para el origen de un hiper ciclo y la selección del más apropiado. Eigen, (l.c.) llegó a la conclusión que sí existe tal probabilidad, determinante de la aparición de las formas más elementales de vida en la tierra.

Aún cuando la teoría de la evolución de Darwin no facilita la reconstrucción, paso a paso, de la secuencia exacta de los sucesos que finalmente dan lugar a la aparición de una especie nueva; en cambio, sí facilita la captación de las condiciones decisivas para el desarrollo de nuevos niveles de organización, dotados de características cualitativas nuevas y de las consecuencias derivables de tal proceso.

Mayr (1982) se ha preocupado, como pocos otros autores, por evitar interpretaciones erróneas sobre las ideas

de Darwin acerca de la evolución, en particular, sobre el fenómeno de la "Selección Natural". Mayr (l.c.) incluye entre los grandes logros del darwinismo y de las investigaciones del siglo pasado, efectuadas bajo tal visión, haber podido demostrar la unidad de la Biología, no obstante la inmensa diversidad de organismos.

También Mayr (1982), reflexiona sobre la dicotomía, entre fenotipo y genotipo y hace énfasis en que la "selección natural" actúa sobre el fenotipo y no sobre el genotipo, sin que ello implique desconocer el significado de la Genética en el esclarecimiento de los procesos de la evolución.

Pone también énfasis en que los objetos de estudio de la Biología son objetos complejos, asimilables a biosistemas de diversos niveles de complejidad, caracterizados por diferentes propiedades emergentes. De donde deduce que no es posible pretender reducir la Biología a otras ciencias, como la Física, la Química o la Fisicoquímica. Las acciones o actividades propias de una especie resultan de tales propiedades emergentes, en particular, las interacciones entre varios individuos y poblaciones de una especie.

Así, fue posible que emergiera la cultura humana de interacciones sinérgicas entre varios eventos evolutivos de la especie *Homo sapiens sapiens*. Quizás el más importante consista en el refinamiento evolutivo de las funciones del cerebro. El uso de herramientas, la formación de sociedades que comparten un trabajo común, el manejo agrícola y, en especial el desarrollo del lenguaje, aparecen a raíz de la creciente sofisticación de las funciones cognoscitivas y de las destrezas motoras del cerebro del *Homo sapiens sapiens*. Probablemente, relacionadas con el incremento gradual del volumen del cerebro, aunque no como único y decisivo factor.

De acuerdo con Singer, (1995,1999), los cerebros de los mamíferos evolucionaron mediante la utilización de estrategias complementarias para representar contenidos. La primera estrategia está radicada en las neuronas individuales que son sintonizadas para dar respuesta selectivamente a constelaciones particulares de sensaciones externas.

La segunda estrategia, de acuerdo con este modelo, consistiría en la integración temporal de las neuronas en un conjunto funcional coherente, el cual representa un contenido particular y, en el cual, cada neurona particular del conjunto, está en sintonía con una característica elemental del objeto percibido.

Los cerebros que tienen la habilidad de enlazar los resultados de sus operaciones computativas y de generar

de esta manera representaciones de sus propios estados internos, son capaces de desarrollar lo que podría llamarse "funciones del ojo interno". Es decir, pueden ser conscientes de su propio desempeño.

El surgimiento de la conciencia fenomenológica atribuible también a los mamíferos superiores y a los primates, vista de esta manera, es una consecuencia del proceso evolutivo, o sea de un proceso que condujo a la aparición de una arquitectura cerebral capaz al mismo tiempo de formular representaciones por la repetición iterativa de operaciones cognocitivas elementales.

Sitte, (1991) señala que el avance del conocimiento biológico ocurrió desde lo complejo macroscópico hacia lo fundamental microscópico. Esto reviste particular interés, por cuanto, los primeros objetos de estudio de la Biología fueron los objetos más complejos, es decir, aquellos que el hombre percibe espontáneamente con sus sentidos y, de una u otra manera, hacen parte del medio en que se desenvuelve la vida humana. Únicamente cuando el hombre obtuvo la información suficiente sobre los fenómenos y objetos macroscópicos, se esforzó por profundizar, cada vez más, en el conocimiento de los fenómenos y objetos subyacentes en el mundo de lo elemental microscópico.

Por lo mismo, la evolución de los Homínidos durante los dos últimos millones de años fue, prioritariamente, la evolución del cerebro, la cual se tradujo en la evolución de la capacidad de valoración de la información sobre la realidad circundante. Capacidad a la vez limitada por el poder de percepción y resolución del "aparato" sensorial y cognoscitivo. Esto mismo determinó que durante la evolución biológica tal "aparato" estuviera adaptado al mundo de dimensiones intermedias o "mesocosmos".

Durante toda la Edad Media predominó el convencimiento, según el cual, nuestros sentidos si son capaces de captar los aspectos esenciales del mundo de manera correcta y sobre todo exhaustiva. Sin embargo, los avances logrados por la Física sobre el conocimiento del espacio de grandes y pequeñas dimensiones pusieron al descubierto las limitaciones de la capacidad cognoscitiva de la especie humana, (Mohr, 2001). Se pudo así concluir también que únicamente las estructuras de la Matemática mantenían validez para cualquier dimensión. Apoyado en ellas, el hombre, logró desde el mesocosmos intentar adentrarse en el conocimiento de los espacios de muy grandes o muy pequeñas dimensiones.

De esta suerte, la matemática devino en el lenguaje de la Física. Pero nuestra capacidad de representación e ima-

ginación permaneció en el mesocosmos. De ahí que nadie sea capaz de imaginarse "fotones" lo que significa "un año luz".

En lo que concierne a la Biología quizás todo ello haya influido, entre otros para que los estudios sobre la evolución, sucedan a la inversa, y desde lo elemental submicroscópico se intente alcanzar la comprensión de lo complejo macroscópico, en caso que el investigador persista en su interés, también por los organismos en sí mismos. A menudo esto último no ocurre, por cuanto suele erróneamente considerarse que ello sería un tema de la ciencia del pasado, o Historia Natural, como se acostumbra a llamarla.

Durante la época de Darwin era poco lo que se conocía sobre los mecanismos elementales implicados en el origen de una nueva especie; pero entre tanto, se ha avanzado mucho en tal empeño. Al promediar el siglo XIX **Gregor Mendel** (1822-1884), creó una nueva disciplina biológica, la Genética, como resultado de sus estudios sobre la transmisión hereditaria de características morfológicas, de generación en generación y, como conclusión decisiva propuso la teoría sobre la existencia de factores transmisibles o hereditarios o genes. Teoría que por largos años permaneció desconocida. Las propuestas de **Mendel** tuvieron que ser rescatadas y reconfirmadas por **Correns**, **Tschermak** y de **Vries**, al comienzo del siglo XX.

Ya hacia la década de los años 30, de ese mismo siglo, se contaba con nuevos conocimientos sobre la herencia de las características de los organismos, al punto que la teoría de **Darwin**, bajo este nuevo aspecto, pudo ser considerada desde nuevas perspectivas.

Cabe destacar las contribuciones de **Dobzhansky**, (1937), **Huxley** (1942) y **Stebbins** (1950) quienes integraron los resultados de sus investigaciones genéticas y crearon de esta manera la "Teoría Sintética de la Evolución", más conocida con el nombre de "Neodarwinismo". A todo ello se sumaron los trabajos de **Fischer** (1930) y **Wright**, (1931) quienes definieron los conceptos de "Fitness" y selección, en términos matemáticos; con lo cual pudieron realizar análisis cuantitativos sobre estos mismos fenómenos.

Las concepciones de los autores mencionados se oponen a los conceptos de **Mayr**, (1984,1998) entre otros autores, quien siempre ha expuesto la teoría, según la cual, para la selección, el gen individual o alelo, no es definitivo, sino el genoma completo. De la totalidad del genoma depende la modelación del fenotipo y como tal, es el genoma completo el que determina la adecuabilidad

del organismo a un determinado hábitat. De allí que los análisis y modelos matemáticos fundamentados en un solo gen o alelo, de acuerdo con **Mayr** (l.c.) son irrelevantes para la comprensión de la evolución. En esta concepción organísmica de la evolución, **Mayr** (l.c.) coincide también con **Darwin** (1859).

En la actualidad, en la Biología se distinguen los siguientes niveles jerárquicos: molécula, macromolécula, célula, organismos multicelulares y ecosistemas. **Darwin** se concentró, de acuerdo con el nivel de conocimiento de su época, en la observación de los organismos y de las especies que ellos conforman, como también de las interacciones entre tales especies y el medio ambiente.

Darwin pudo demostrar que las especies de organismos, con el transcurso del tiempo, se adaptan al medio ambiente. Por ejemplo, la diversidad de colores, perfumes y formas de las flores, no hubieran podido surgir si no hubieran estado simultáneamente presentes, en el mismo entorno, las especies de insectos polinizadores que perciben tales atributos como señales indicativas del sitio donde se encuentran las flores productoras del néctar, para alimento de ellos. Fue así también como se pudo establecer la "selección natural" de otros factores implicados sin que **Darwin** hubiera creído necesario detenerse en la consideración de la posible existencia de un nivel elemental, responsable de las respectivas adaptaciones.

Muchos investigadores contemporáneos prefieren dar respuesta primero a preguntas relacionadas con esto último. Así, se preguntan: ¿existen en la realidad, bio-sistemas? Si existen, ¿cuáles son las causas que llevaron a la formación de un bio-sistema y cuáles son las regularidades que puedan reconocerse, por ejemplo, en los niveles jerárquicos superiores ya mencionados de los organismos totales terrestres?

Bajo el nuevo enfoque podría decirse que por evolución biológica ahora se entienden las transformaciones que con el transcurso del tiempo sufren las características transmisibles por herencia de los organismos. De modo que el cambio en el enfoque consiste en dar prelación ya no a la variabilidad fenotípica, sino a la correspondiente al nivel genético. Se sabe que los organismos pertenecientes a una misma especie, diferenciados por uno o muchos caracteres, genéticamente heredados, son portadores de alelos diferentes. Por consiguiente, la evolución consiste en los cambios que ocurren, de generación en generación, de las frecuencias de alelos al interior de una misma población o de una misma especie.

Durante la evolución genética del organismo humano se incrementó paulatinamente la capacidad de pensar y

con ella las estructuras y posibilidades cognoscitivas. El pensar, bajo la influencia de la selección natural, se adaptó a las estructuras del mundo real, es decir, de la naturaleza. Se alcanzó así la identidad, por lo menos parcial, entre las estructuras cognoscitivas y las estructuras reales. Por lo mismo el conocimiento "a priori" del mundo con el cual nacemos está anclado en nuestro genoma en forma de información genética, al igual la información genética para el caminar erguido, el pronunciar articulado de palabras y de escucharlas e interrelacionarlas con estructuras u objetos del mundo real, en fin, la capacidad de ver y de sentir.

De la Biología Evolutiva se desprendió la Biosociología, disciplina que se ocupa del estudio de las relaciones entre los individuos de una misma especie, en particular, del comportamiento social-interindividual. Por lo mismo, no es fácil establecer claras diferencias, con respecto a otros aspectos de la evolución biológica que tienen que ver, respectivamente, o con el comportamiento individual o con el comportamiento colectivo, versus el entorno que las sustenta. Lo primero corresponde a la Etología, mientras lo segundo a la Ecología.

En particular, la Sociobiología trata de valorar las adaptaciones del comportamiento social del organismo y esclarecer así las preguntas relacionadas con la determinación de las causas evolutivas del comportamiento social. La Etología, por otra parte, intenta principalmente explicar las causas inmediatas que inducen determinadas modalidades del comportamiento individual, responsables de las particularidades funcionales interconexas. Por ej., los sistemas de apareamiento.

Dentro de un marco general, la Etología se ocupa también de los estudios comparados del comportamiento de las especies. Entre los exponentes más destacados de esta rama de la Biología se cuentan **Niko Tinbergen** (1907-1988), y **Konrad Lorenz** (1903-1989). **Tinbergen** contribuyó a la teoría del instinto y **Lorenz** hizo contribuciones notables, a la Etología y difundió ampliamente los conocimientos logrados por esta disciplina.

Una de las preguntas ligadas a la Sociobiología, formulada por **Wilson**, (1975,1978) fue la siguiente: ¿Pueden derivarse de la Sociobiología principios éticos, reglas de comportamiento e imperativos categóricos?

Se trata de una pregunta de difícil respuesta, aunque podría preguntarse si realmente su respuesta es de la competencia de la Sociobiología. Puede decirse que la Sociobiología es una disciplina en "estado naciente", futuro de sólidas perspectivas hacia el futuro.

Del mismo modo, dadas las actuales incertidumbres sobre el futuro de la humanidad y, en general, del planeta recobra cada día mayor urgencia e importancia la reflexión sobre los impactos del actual modelo de desarrollo socioeconómico y cultural globalizado. Corresponde a los biólogos, sociobiólogos y especialistas de todas las disciplinas, científicas detenerse en la consideración de las repercusiones éticas de los avances del conocimiento científico básico y de los usos que se dan o se piensa dar a los conocimientos científicos. Sobre todo, ante el hecho que los resultados de la Ciencia tienen ahora efectos sociales ambivalentes.

De una parte, los resultados de la Ciencia proporcionan inmensos efectos benéficos para la humanidad, pero por otra parte, sobretudo en los tiempos que corren, puede también incurrir en efectos adversos para la sociedad humana y para el sostenimiento de la vida en el planeta, en particular, en consecuencia de las aplicaciones inspiradas en el utilitarismo a ultranza. Por ej., de la Ingeniería Genética. Sin mencionar la compartimentalización e hiperespecialización de las disciplinas, en detrimento de la aproximación interdisciplinaria a la solución de los problemas complejos, como los surgidos a raíz de los impactos sobre los sistemas ambientales que soportan la vida en el planeta.

A manera de conclusión podría afirmarse que la investigación científica, en el futuro, debe fundamentarse en una ética sólida, coherente con los valores consagrados de la calidad de la vida humana. Los mismos en los cuales se asentará su preservación y avance cultural. Solamente así podrá lograrse un desarrollo sostenible, en el que tenga sustento la calidad de vida para las presentes y futuras generaciones. Para ello, tres principios constituirán el fundamento de tal sistema ético: a) preservar la dignidad humana con apoyo en la promoción de la solidaridad social que implica respetar la identidad del individuo y preservar los sistemas de soporte de la vida que configuran el medio ambiente o entorno en el cual están inmersos todos los organismos, incluida la especie *Homo sapiens sapiens*. Esto llevaría al surgimiento de una Economía- ecológica que proteja la biosfera y la creación y aplicación de procedimientos de desarrollo limpio, sostenible, en cuanto preserven para las generaciones futuras el patrimonio natural, los recursos y potencialidades del entorno.

El segundo principio, derivado del primero sería: promover la solidaridad de las presentes generaciones con las que nos sucederán en el futuro. Principio que debería ser guía para el futuro desarrollo de la Ciencia. Así mismo, este principio debería servir de pauta para seleccionar las tecnologías que merezcan ser creadas o transferidas de otros contextos previa adopción a nuestro entorno o

aquellas que, definitivamente deban ser sustituidas por tecnologías de origen endógeno.

Como lo muestran muchos ejemplos, los métodos biotecnológicos tienen un gran potencial innovador en el mejoramiento de las plantas cultivadas y especies de animales domésticos. Sin embargo, todavía quedan muchos interrogantes por resolver. Por ejemplo, si bien ya es posible transferir genes a células vegetales, el sitio de la integración del gene transferido al genoma total y el número de copias del gene integrado al genoma total, no es previsible. Sin embargo, del número de las copias del gene integradas al genoma de la planta, depende el impacto e intensidad de la expresión fenotípica.

Se sabe con seguridad que las bacterias infecciosas, debido a la capacidad de capturar e incorporar al genoma total genes especiales, pueden desarrollar resistencia a los antibióticos. Los genes pueden ser transferidos, horizontalmente a través de varias especies de bacterias. Debido a la efectividad de este mecanismo de transferencia génica, las resistencias a los antibióticos se propagan rápidamente; razón por la cual, la industria farmacéutica tiene que reemplazar permanentemente los antibióticos más frecuentemente utilizados. Por tratar de incorporar a las plantas genes "deseados" con fines técnicos, puede ocurrir, entre otros, que se transfieran también genes resistentes a los antibióticos, así, en las plantas, la posibilidad de transferencia de genes resistentes a los antibióticos, sea más baja que en las bacterias.

Bibliografía

- Bunge M. 1979. *Ontology II: A World of Systems*. Reidel, Dordrecht.
- Bertalanffy, L.v., 1968. *General System Theory*. New York.
- Darwin Ch. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored races in the Struggle for Life*. London.
- Dobzhansky, T. 1937. *Genetics and the origin of species*. Columbia University Press. New York.
- Fischer, R.A. 1930. *The general theory of natural selection*. Clarendon Press, Oxford.
- Schleiden, M.J. 1838. Beiträge zur Phylogenesis, in: Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin (Müllers Archiv) 5: 137-176.
- Eigen, M. 1971. Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macromolecules. *Naturwissenschaften* 58: 465-523.
- _____ & Schuster, P. 1979. *The Hypercycle*. Springer-Verlag, Berlin.
- Huxley, J.S. 1942. *Evolution, the Modern Synthesis*. G. Allen and Unwin, London.
- Mayr, E. 1982. *The Growth of Biological Thought*. The Belknap Press. Cambridge Mass./US.
- _____ 1988. *Toward a new philosophy of biology*. The Belknap Press.
- _____ 1998. *Das ist Biologie. Die Wissenschaft des Lebens*. Spektrum Akademie Verlag, Heidelberg-Berlin.
- Mahner M. & M. Bunge. 1997. *Foundations of Biophilosophy*. Springer. Berlin, New York, Heidelberg.
- Mohr, H. 2001. Über die Bedeutung der Hermeneutik in den Naturwissenschaften. *Nat.Wiss.Rund.* 54: (49: 192-195).
- _____ *Biologische Erkenntnis*. Tübingen Stuttgart. 1981.
- Singer, W. 1995. Development and Plasticity of cortical processing Architectures. *Science* 270: 758-764.
- _____ 1999. Neuronal Synchrony, A versatile Code for the Definition of Relations? *Neuron* 24: 49-65.
- Singer, W. 2001 The Transition from biological to cultural evolution. Prospects for a new Millenium Science and the Future of Mankind. *Science for Man and Man for Science. The preparatory Session 12-14 November 1999 and the Jubilee Plenary Session 10-13 November 2000. Pontificiae Academiae Scientiarum Scripta Varia* 99:350-359.
- Sitte, P. 1991. Wege, Einsichten und Möglichkeiten der Biologie. *Naturw. Rdsch.* 44: 337
- Schleiden, M.J., 1838. Beiträge zur Phylogenesis. In: Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin: Müllers Archiv 5:137-176.
- Stebbins, G.L. 1950 *Variation and Evolution in Plants*. Columbia University Press. New York.
- Schwann, T., 1839 *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen*. Sander'sche Buchhandlung. Berlin.
- Wright, S., 1931. Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16: 97.
- Wilson, E.O., 1975. *Sociobiology -the new synthesis*. Harvard University Press. Cambridge.
- _____ , 1978 *New Scientist* 80: 45-49.
- Wuketits, F.M. 1978. *Wissenschaftstheoretische Probleme der modernen Biologie*. Dunker & Humboldt. Berlin.

LA NECESIDAD URGENTE DE MANTENER EL EQUILIBRIO DINÁMICO DEL CICLO HÍDRICO²

Los páramos prestan múltiples servicios ambientales a las comunidades rurales y urbanas. El servicio más sobresaliente y preponderante consiste en la producción y regulación hídrica. En los páramos nace la mayoría de los ríos que proporcionan agua para el consumo humano en las ciudades. También para la generación de energía hidroeléctrica y provisión de agua al sector agropecuario.

El incremento cada vez más acelerado de las grandes ciudades, el acelerado crecimiento de la población y el desplazamiento de los cultivos y de la ganadería hacia el páramo amenazan perturbar el equilibrio dinámico del ciclo hídrico y con ello la desaparición del recurso agua.

Es urgente, por consiguiente, estudiar a profundidad, la situación macroambiental, regional y nacional e identificar los interrogantes que precisa resolver. Pero todo lo anterior no podrá realizarse si no se llenan los vacíos de conocimiento y se pueda construir un marco de referencia y de orientación que permita diseñar las estrategias para reparar los disturbios y que eviten la perturbación irreversible del equilibrio dinámico del ciclo hídrico.

Lo primero habrá de comenzar, prioritariamente, con el enriquecimiento de los conocimientos científicos básicos sobre los factores implicados en la capacidad de autorregulación del bioma páramo. Los resultados hasta ahora obtenidos en tal sentido por nuestro Grupo indican que, en primer lugar, las adaptaciones de las plantas dominantes en las diferentes comunidades presentes en el páramo, determinan a la vez el papel de las diferentes comunidades en la regulación del ciclo hídrico.

De acuerdo con **Lauer** (1976) las montañas tropicales muestran un escalonamiento hídrico vertical, de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar. A cada piso altitudinal corresponde un intervalo máximo diferente de precipitaciones anuales totales. Si se comparan el clima y la vegetación de diferentes montañas tropicales, se puede explicar que la franja de máximas precipitaciones anuales, puede estar situada entre la base de la montaña y una elevación de más de 2500 m.s.n.m., dependiendo ello del régimen anual del clima y del sistema de circulación atmosférico.

En general, se pueden establecer los siguientes principios:

a) entre más seca sea la base de la montaña, la franja de precipitación máxima anual total está situada a mayor altura en las montañas tropicales. En el área predominante de régimen de precipitaciones convectivas en los trópicos húmedos la franja tropical de máxima precipitación está situada en el intervalo de 900-1400 m.s.n.m. Es decir, que corresponde a una ubicación intermedia en cuanto a la elevación. El máximo de precipitación secundario corresponde al piso del bosque de neblina.

El páramo desértico coincide con el ambiente más extremo habitable por *Espeletia spp.* La mayor área de este sistema tropical alto-andino, se distribuye en la Cordillera de Mérida, Venezuela, por encima de los 4000 m.s.n.m., y alcanza una elevación de 4600 m.s.n.m. en el ecotono de los glaciares. Allí crece *Espeletia tinctoria*. Los páramos de Colombia y del norte de Ecuador, por lo general, son páramos húmedos. Los páramos del sur del Ecuador y la Jalca del norte del Perú son también relativamente secos.

Malagón, (1981), analiza las características de suelos del páramo desértico Pico del Águila, precisamente donde crece *Espeletia timotensis* a 4118 mts. de altitud. Los suelos están constituidos por un manto móvil de soliflucción de un espesor de 7 cm. que migra fácilmente a lo largo de las fuertes pendientes. Sobre este manto caen los achenios de *E. timotensis* y encuentran en tal substrato un nicho germinativo excelente "Pico del Águila" tiene una temperatura anual promedio de 2.8° C, con una precipitación de 869 mm. de patrón unimodal.

El calentamiento de las hojas de plantas de baja altura tiene influencia sobre los gradientes de humedad, en cuanto facilita la evaporación de las aguas lluvias y por consiguiente, sobre la transpiración. La evotranspiración de los suelos y plantas dominantes del páramo retorna parte de las aguas lluvias a la atmósfera. Mediante la evotranspiración, entre otros factores ecológicos, los ecosistemas de alta montaña de páramos y subpáramos, regulan el ciclo hídrico característico. De la conservación eficiente de tales factores reguladores depende la persistencia de la estructura y dinámica del bioma páramo, de las cuales a la vez depende la interacción equilibrada y sustentable de las comunidades con el medio ambiente.

² Palabras pronunciadas por el presidente de la Academia durante el Congreso Mundial de Páramos realizado en Paipa.

Cabe así mismo destacar la capacidad para almacenar agua y regular los flujos hídricos del bioma Páramo. El páramo es un ecosistema en el cual la vegetación y el suelo han desarrollado un gran potencial para interceptar y almacenar agua, de ello depende el valor estratégico del páramo como regulador del ciclo hídrico e inclusive de producir excedentes del tan preciado líquido, aprovechables para los fines ya señalados.

En lo que concierne a la conservación, es decisivo socializar estos conocimientos, al igual que todos aquellos que mediante la investigación científica se logre consolidar sobre los bienes y servicios ecosistémicos del páramo. Ello implica el acercamiento de la comunidad científica y académica a las comunidades de usuarios de los servicios ambientales del páramo, entre ellas las que utilizan o están encargadas del manejo del servicio ambiental del agua.

El calentamiento de las hojas de las plantas del páramo de baja estatura tiene influencia sobre los gradientes de humedad y, por consiguiente, en la transpiración y en la evaporación. El pisoteo del ganado puede causar efectos negativos sobre estos procesos y causar disturbios profundos.

Como es sabido, durante el día la radiación proveniente del sol, calienta la superficie de la tierra. El suelo se vuelve más caliente que el aire que se encuentra por encima. Mediante el proceso de conducción de calor este aire superpuesto, también se calienta. A medida que esto sucede el aire pierde densidad y por lo tanto se hace más liviano y asciende. Inmediatamente, es sustituido por el aire frío que se encuentra por encima, el cual desciende y se calienta por conducción. Así se torna más liviano e igualmente asciende, y así sucesivamente. Este proceso conduce a la denominada "mezcla convectiva de calor" que origina corrientes convectivas ascendentes.

El flujo de calor por conducción durante la noche es de dirección opuesta al que se presenta durante el día. Así se origina el descenso del aire hacia el suelo que está más caliente, pero que continúa perdiendo calor por erradicación del calor almacenado durante el día soleado.

Las respuestas adaptativas de las plantas del páramo

A lo largo de la evolución, las plantas de altas montañas desarrollaron respuestas adaptativas a la marcada inestabilidad, en particular para responder a la inestabilidad de los factores climáticos del Páramo a lo largo del ritmo diario o circadiano.

El estudio de tales estrategias adaptativas en desarrollo del programa de investigaciones que adelante nuestro

Grupo sobre las estrategias adaptativas de especies de plantas de elevada frecuencia en el páramo y bioforma diferente, ha permitido identificar adaptaciones y respuestas adaptativas, tanto estructurales como funcionales de varias especies de plantas del páramo, entre otras, de *Espeletia grandiflora* y de *Pentacalia vaccinioides*, especies de bioforma contrastante.

Se trata de adaptaciones que permiten a estas dos especies regular los efectos sobre la conductancia y la transpiración foliares de las variaciones diurnas frecuentes y fuertes de la radiación global y sus respectivos efectos sobre la temperatura de la hoja, la humedad relativa y la temperatura del aire, así como de la tensión hídrica y de la temperatura del suelo del páramo. Esto último, sobre todo, durante los meses de menor precipitación del año (diciembre-marzo; julio-agosto).

Entre las adaptaciones organizacionales y estructurales, además de las correspondientes a las respectivas bioformas, se identificaron características anatómicas de la hoja y del tallo que contribuyen unas, a regular los efectos negativos de las oscilaciones fuertes de los parámetros ambientales en cuanto crean condiciones para el almacenamiento de agua mientras otras, disminuyen el efecto del calentamiento foliar por exposición a la elevada insolación o, en fin, otros caracteres que, en conjunto contribuyen a mantener condiciones de estabilidad de la "capa límite", entre la atmósfera y la superficie foliar.

De esta manera se obtiene que las especies de plantas del páramo, unas con mayor eficiencia que otras, como es el caso de *Espeletia grandiflora* con respecto a *Pentacalia vaccinioides*, regulen funciones vitales de acuerdo con las variaciones fuertes e intermitentes de los factores ambientales; por ejemplo, funciones relacionadas con el intercambio de gases entre la atmósfera y el interior de la hoja, tal como pudo comprobarse en el estudio, cuyos resultados se presentan, entre otros, en Mora (1995-2000) con respecto a la regulación de la transpiración y de la conductancia foliares, con base en la evaluación estadística de los resultados de las mediciones efectuadas en el páramo de la intensidad de las variaciones de los diferentes parámetros ambientales y de las respectivas intensidades de variación de los parámetros funcionales de las especies de plantas estudiadas, en tres comunidades sustentadas por suelos diferentes. Las diferencias se reflejan en la tensión hídrica negativa de cada uno de tales suelos. Parámetro cuya variación depende de muchos factores ambientales, entre otros, la pluviosidad mayor o menor, a lo largo de un amplio rango.

De acuerdo con **Lauer** (1976) los gradientes altitudinales de las precipitaciones presentan patrones complejos, con una amplia variabilidad entre diferentes cordones montañosos en función de su orientación, altitud, elevación total, etc. En general puede resumirse esta variabilidad en dos situaciones extremas, separadas por una gama de situaciones intermedias. Un caso típico es el incremento gradual de las lluvias con la altitud hasta alcanzar un máximo a alturas medias, del orden de los 2.000 a 2.500 m, determinado especialmente por el nivel de condensación de las precipitaciones orográficas, al cual corresponde el clásico cinturón de selvas nubladas. Luego las precipitaciones decrecen con la altura.

El otro caso típico se encuentra en las Cuencas de las vertientes donde el máximo de lluvias se produce en la parte baja, a alturas inferiores a los 1.000 m., con una disminución paulatina con la altitud. En este caso toda la cuenca presenta formaciones forestales húmedas hasta el límite altitudinal del bosque, resultando mucho más convencional separar un cinturón específico de bosques montanos.

En el trópico tenemos que diferenciar varios niveles de condensación. El primer nivel alcanza 1000-1800 m.s.n.m., luego tenemos el nivel del bosque subandino, con una humedad más elevada del aire. La presencia de muchas plantas epífitas y bejucos trepadores y de helechos en los sitios más húmedos es característica. Este nivel abundan las nubes. El límite inferior de las nubes (primer nivel de condensación), está situado a 1500-1800 m.s.n.m. y hace que el bosque se extienda a alturas de 2500-2800 m.s.n.m. A éste se conoce como el bosque de neblina.

El segundo nivel de condensación depende de la configuración del nivel inmediatamente inferior y según la disponibilidad de vapor de agua está a una altura de 2700 m. y avanza hasta el límite superior del bosque, entre 3200-3500 m.s.n.m, donde produce lluvias. Son más húmedos que los bosques de las tierras templadas, puesto que están presentes muy finas gotitas de agua.

Weischet (1965 y 1969) ha propuesto los siguientes principios en cuanto al escalonamiento de la precipitación las lluvias anuales máximas están entre 900-1400 m.s.n.m.; el segundo máximo está en una altura entre 2700 y 3200 m.s.n.m.; el tercer nivel de lluvias está en los valles que atraviesan las Cordilleras de 3200 m. hacia arriba.

Sin embargo, no existen reglas constantes. Las diferentes regiones tropicales muestran que la zonificación altitudinal hídrica de las montañas tropicales no es unita-

ria. Existen diferencias notables según el relieve, pero también según el régimen climático y la circulación atmosférica.

Cuando las montañas son de gran dimensión y están rodeadas por zonas relativamente secas, se presentan fenómenos de condensación que dan lugar a lluvias cuando entran en contacto con los vientos, Pasat, a grandes alturas.

Por otra parte, el ritmo térmico más destacable, en los trópicos, es el que ocurre durante el fotoperíodo por lo cual se habla del ritmo de ciclo diario o ritmo de ciclo circadiano. En los días de fuerte radiación, sobre todo en la superficie del suelo de los páramos, ocurren considerables oscilaciones de la temperatura, donde se han medido temperaturas del suelo, en la noche de -10° C y en el período diurno 50° C. Esto promueve la evaporación del agua del suelo del Páramo y de la vegetación; lo cual contribuye a restituir a la atmósfera la humedad promotora de la condensación del vapor de agua en forma de nubes, que en contacto con corrientes de viento frías como los Pasat producen abundante precipitación.

En conclusión, como lo pone en evidencia el análisis que se hace en esta presentación, el significado de los páramos en la regulación del ciclo hídrico y en el sostenimiento del equilibrio dinámico del ciclo del agua es decisivo, por lo cual más pronto que tarde debemos proceder a poner en marcha actividades y programas conducentes a reparar disturbios ya producidos en los ecosistemas que conforman el bioma páramo, con base en conocimientos ya disponibles como los que aquí se han expuesto. Por otra parte, con apoyo en el enriquecimiento del conocimiento sobre el funcionamiento del bioma páramo elaborar estrategias efectivas que conduzcan en forma efectiva asegurar la persistencia de tan valioso patrimonio natural.

Luis Eduardo Mora Osejo

BIBLIOGRAFÍA

- Lauer, W.** 1976. Zur hygrischer Höhenstufung tropischer Gebirge. *Biogeographica* 7: 169-182.
- Malagón, D.** 1981. Evolución de los suelos en el Páramo Andino. CIDIAI. Mérida.
- Mora-Osejo, L.E. et al** 1995. La regulación de la transpiración momentánea en plantas del páramo por factores endógenos y ambientales. En: Mora-Osejo, L.E. & H. Sturm (eds) Estudios Ecológicos del Páramo y el Bosque alto-andino. Cordillera Oriental de Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez-Lleras No.6. 1:89-149. Editora Guadalupe Bogotá (2ª Edición).

Mora-Osejo, L.E. 2001. Contribución al Estudio Comparativo de la Conductancia y la Transpiración foliar de Especies de Plantas del Páramo. Colección Jorge Álvarez-Lleras No.17, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Editora Guadalupe, Bogotá.

Murcia, M. & L.E. Mora-Osejo, 2002. Evasión térmica de las hojas juveniles y de la yema terminal de plantas caulirrosulas de especies de *Espeletia* (en prensa).

Welsch, W. 1965. Der tropisch-konvektive und der aussertropischadventive Typ der vertikalen Niederschlag-Verteilung. Erdkunde 19: 16-14, Bonn.

———. 1969. Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebirgen. Die Erde 100: 287-306.