

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

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXIII

MARZO DE 1999

NUMERO 86

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA



## CONTENIDO - CONTENTS

	Pág.		Pág.
<b>Botánica (Botany)</b>		(The Differential Calculus course by Aimé Bergeron at the Colegio Militar)	
Los géneros <i>Allomaieta</i> y <i>Cyphostyla</i> (Melastomataceae) (The genera <i>Allomaieta</i> and <i>Cyphostyla</i> (Melastomataceae) <i>Gustavo Lozano C. &amp; Nubia Becerra de Lozano</i> .....	5	<i>Victor Samuel Albis-González &amp; Clara H. Sánchez</i> .....	73
<b>Pteridófitos de Colombia I. Composición y distribución de las Lycopodiaceae</b> (Pteridophyta of Colombia I. Composition and distribution of the Lycopodiaceae) <i>María Teresa Murillo-Pulido &amp; José Murillo-Aldana</i> .....	19	Iconografía fitopatológica colombiana. (Colombian Phytopathological iconography) <i>Pablo Buriticá Céspedes</i> .....	81
<b>Ecología (Ecology)</b>		Introducción a la teoría de la Ciencia en Hobbes. (Introduction to the Hobbes' Science Theory) <i>Mario Laserna</i> .....	97
Aspectos ecológicos del caimán llanero ( <i>Crocodylus intermedius</i> Graves, 1819) en un subarcal de distribución en Arauca, Colombia. (Ecological aspects of <i>Crocodylus intermedius</i> Graves, 1819, in Arauca, Colombia). <i>Olga Patricia Bonilla &amp; Sandra Barahona Buitrago</i> .....	39	<b>Políticas y proyecciones científicas</b> (Politics and scientific projections) La sistemática en Colombia para el siglo XXI (Colombian systematic strategies in 21 <sup>st</sup> century) <i>Enrique Forero</i> .....	129
Ecología reproductiva de una población de <i>Cochranella ignota</i> (Anura: Centrolenidae). (Breeding Ecology of a <i>Cochranella ignota</i> population [Anura: Centrolenidae]) <i>Jorge Humberto Restrepo &amp; Luis G. Naranjo</i> .....	49	<b>Zoología (Zoology)</b> Una nueva especie de <i>Atelopus</i> (Amphibia: Anura) de la Cordillera Oriental colombiana (A new species of <i>Atelopus</i> (Amphibia: Anura) from colombian Cordillera Oriental) <i>María Cristina Ardila-Robayo</i> .....	139
<b>Física (Physics)</b> El billar de Sinai clásico (The classical Sinai Billiard) <i>Santiago Andrés Triana &amp; Diógenes Campos</i> .....	61	Ranas pequeñas, la geometría de evolución y la especiación en los Andes colombianos (Small frogs, the geometry of evolution and speciation in the colombian Andes) <i>John D. Lynch</i> .....	143
<b>Historia y Filosofía de la Ciencia</b> (History and Philosophy of Science) Descripción del curso de Cálculo Diferencial de Aimé Bergeron en el Colegio Militar.		<b>Vida académica (Academic Life)</b> .....	161
		<b>Constitución de la Academia (Members of the Academy)</b> .....	167

# LOS GENEROS *ALLOMAIETA* Y *CYPHOSTYLA* (MELASTOMATACAE)

por

Gustavo Lozano C<sup>1</sup>. & Nubia Becerra de Lozano<sup>2</sup>

## Resumen

**Lozano, G. & Becerra de Lozano, N.:** Los géneros *Allomaieta* y *Cyphostyla* (Melastomataceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23**(86): 5-18.1999. ISSN 0370 – 3908.

Se analizan los principales caracteres morfológicos utilizados por Gleason (1929) para la separación de estos géneros. Se propone incluir el género *Cyphostyla* como sinónimo de *Allomaieta* y mantener la tribu Cyphostyleae. Se presentan a consideración cuatro nuevas especies y tres nuevas combinaciones incluyendo una clave que nos permite reconocerlas fácilmente.

**Palabras claves:** Melastomataceae, Cyphostylae, *Allomaieta*, *Cyphostyla*, Taxonomía, Colombia.

## Abstract

Four new species of *Allomaieta* are described, and the tribe Cyphostyleae (Melastomataceae) is maintained. Also three combinations and synonyms are proposed including the genus *Cyphostyla*.

**Key words:** Melastomataceae, Cyphostylae, *Allomaieta*, *Cyphostyla*, Taxonomy, Colombia.

## Introducción

La familia Melastomataceae corresponde a uno de los grupos más numerosos de la flora de Colombia; tiene una alta distribución tanto altitudinal como latitudinal. Se calcula que la familia comprende cerca de 200 géneros de los cuales 63 están representados en el país, esto equivale a un 30% de representatividad a nivel mundial,

de ellos *Allomaieta*, *Chalybea*, *Cyphostyla*, *Diplarpea*, *Huilea* y *Kirkbridea* únicamente han sido reportados en Colombia (endémicos). **Gleason** (1929) describió una nueva tribu con base en dos géneros *Allomaieta* un género monotípico y *Cyphostyla* un género nuevo con dos especies; más tarde (1933) el mismo autor publica una tercera especie, todas hasta el presente han sido registradas únicamente de Colombia.

**Renner** (1993) en su trabajo sobre filogenia y clasificación de las Melastomataceas y Memecilaceas incluye estos dos géneros en la tribu Miconiaea; **Wall-nofen** (1996) menciona la tribu pero no discute la posición

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Naturales – Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 7495, Bogotá, D.E.

<sup>2</sup> Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, ndlozano@ciencias.unal.edu.co

de estos géneros. Dada la escasa representatividad de estas especies en colecciones de herbario los últimos trabajos a nivel de revisiones o estudios de los aspectos morfológicos: **Parisca** (1972), **Whiffin** (1972), **Baas** (1981), **Boumgrafz** (1983 - 85), **Klucking** (1989), no tuvieron la posibilidad de incluirlos en sus análisis; gracias a los recientes trabajos de campo realizados en el país hemos contado con una serie de material fértil el cual podemos incluirlo con seguridad como pertenecientes a los géneros *Allomaieta* y *Cyphostyla*, estos nuevos especímenes botánicos nos han permitido analizar con mayor detenimiento los caracteres fundamentales para el reconocimiento de la tribu y los géneros propuestos por **Gleason** (1929), así mismos algunos otros aspectos que a nuestro juicio ayudan al conocimiento de las especies consideradas en este trabajo. Entre las observaciones realizadas hemos podido precisar las siguientes características comunes a estos géneros.

**HABITO:** Según las notas de colección la mayoría de los especímenes presenta forma de arbustos pequeños 1-3 m. De alto, erectos o escandentes, una de las anotaciones indica que puede adquirir también forma arborescente de 6 m de alto. Las ramas y las ramillas presentan un aspecto delgado sin una marcada apariencia leñosa.

**HOJAS:** La observación detallada tanto de los especímenes tipo como los ejemplares recientemente colectados nos demuestran que las hojas del mismo nudo tienden en la mayoría de los casos a ser desiguales, presentando una anisofilia marcada, en muchos casos esta reducción puede alcanzar a más de 4/5 de la superficie de la hoja más desarrollada, en *Allomaieta grandiflora* se presentan mirmecodomacios en forma de saco a nivel de la base de la lámina foliar generalmente en las hojas de mayor tamaño del mismo nudo, carácter que no tiene por lo general significación genérica dentro de la familia de las Melastomataceas.

**VENACION:** Hojas plinervadas, venacion secundaria para-arqueada, escasamente angulosas, venas de orden inferior pinnadas, conectando el nervio medio y la vena acrodromal; venacion intercostal linear transversa, es similar al patrón de venacion B, establecido por **Klucking** (1989). La consistencia de la lamina foliar es membranosa.

**INDUMENTO:** De acuerdo con **Wurdack** (1986) la cobertura de las hojas, ramas y flores presenta en todas las especies consideradas de *Allomaieta* y *Cyphostyla* tricomas de tipo 11, caracterizada por pelos alargados o acanalados sin glándula; glándulas cortamente pediceladas con cabeza corta de paredes delgadas, tipo 3 de

**Wurdack**, se presentan en 7 de las ocho especies; en tres de las especies estudiadas se presentan pelos largos o cortos del tipo 15 del mismo autor con base ampollada sin venación.

De acuerdo con **Wurdack** (1986) el primer tipo de indumento es el más característico de las melastomataceas del neotropico; el segundo se encuentra representado en todas las tribus y el tipo 15 se encuentra en cuatro (4) de las tribus de la familia, de acuerdo con **Wurdack** (1986).

El indumento que exhiben los tallos es el mismo que generalmente se encuentra dispuesto en las inflorescencias flores y en los nervios principales de la lámina foliar; las glándulas y su distribución son difíciles de observar por encontrarse generalmente entre el indumento más característico y cubiertas por él. No se observa en este carácter una diferencia marcada que permita asimilarlo o separarlo en un grupo determinado dentro de la familia.

**Anatomía de la lámina foliar.** La nervadura media y el peciolo son similares en las tres especies analizadas; *Allomaieta grandiflora*, *A. caucana* y *A. ebejicosana* (Figs 1-2). La lámina foliar es muy delgada, en ella se aprecia la epidermis de la haz con células grandes, recubiertas por una cutícula delgada y tricomas de los tipos previamente mencionados. El mesófilo consta de 3-4 capas celulares, el parénquima en empalizada es uniestratificado, sus células ocupan cerca de la mitad del mesófilo y presentan grosor variable en las tres especies. El parénquima esponjoso tiene dos capas celulares en *A. grandiflora* y *A. ebejicosana* y tres capas celulares en *A. caucana*.

En todas las especies aparecen drusas de tamaño considerable, que en *A. ebejicosana* se localizan principalmente en la última capa y forman pequeños abultamientos. Las esclereidas de diferentes tipos son frecuentes en las nervaduras de diferente orden. La epidermis de envés tiene más células pequeñas que la epidermis de la haz, su cutícula es delgada y esta recubierta por tricomas. Los estomas son de tipo anomocítico, diacítico o tetracítico de acuerdo con lo establecido por **Baas** (1981).

En la nervadura central los haces conductores son hadrocéntricos o bicolaterales y forman un círculo, las esclereidas y las drusas son abundantes, principalmente en las cercanías a los haces.

El peciolo se estudio a nivel medio, la epidermis presenta los tipos de tricomas mencionados y en el parénquima existen drusas y esclereidas aisladas o en grupos pequeños; los haces conductores son colaterales

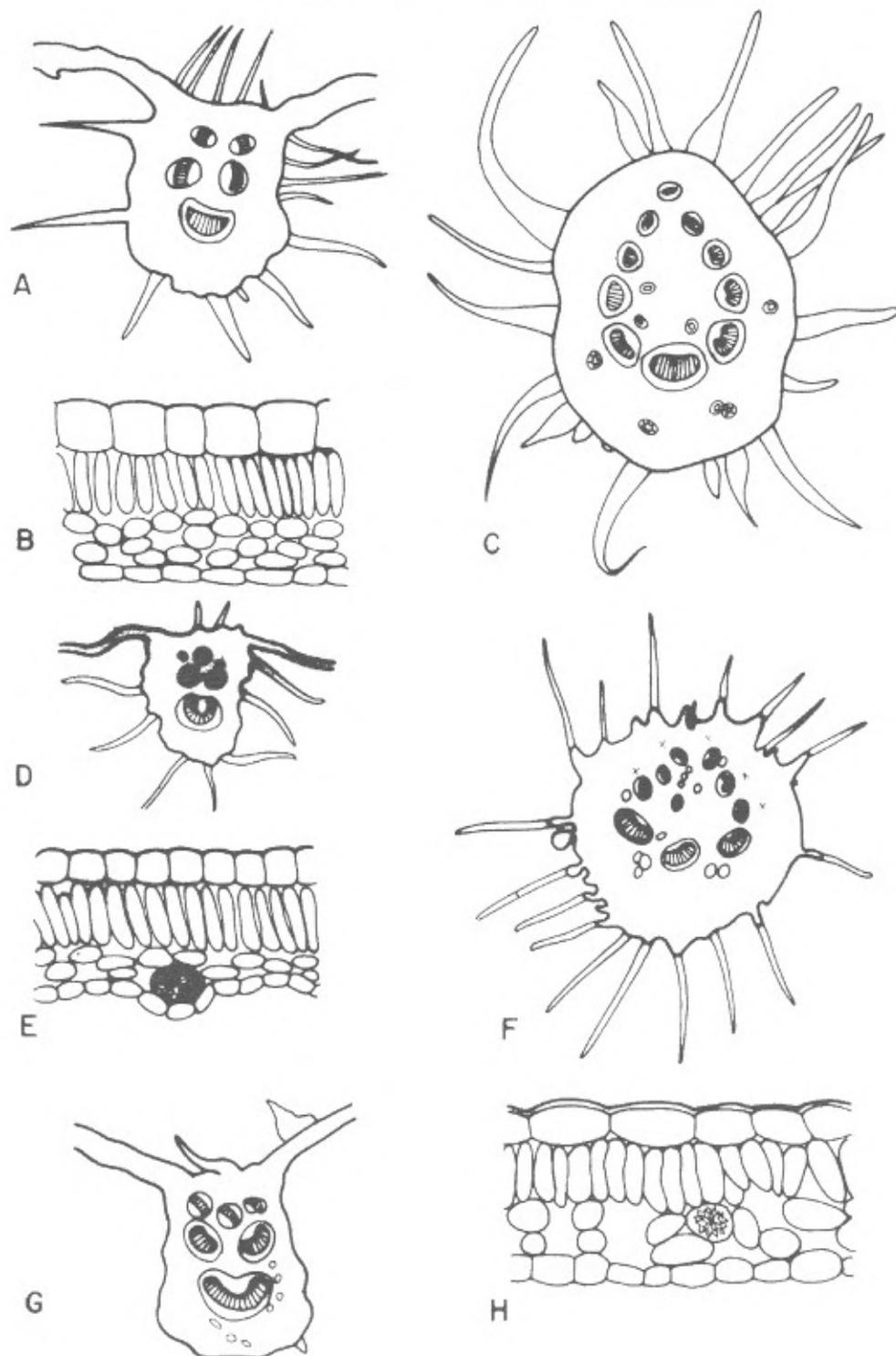


Figura 1. Anatomía de la hoja. *Allomaieta cawana* A- nervadura media, B- detalle de la lámina, C- peciolo. *Allomaieta ebejicosana* D- nervadura media, E- detalle de la lámina, F- peciolo. *Allomaieta grandiflora* G- nervadura media, H- detalle de la lámina. (Xilema rayado).

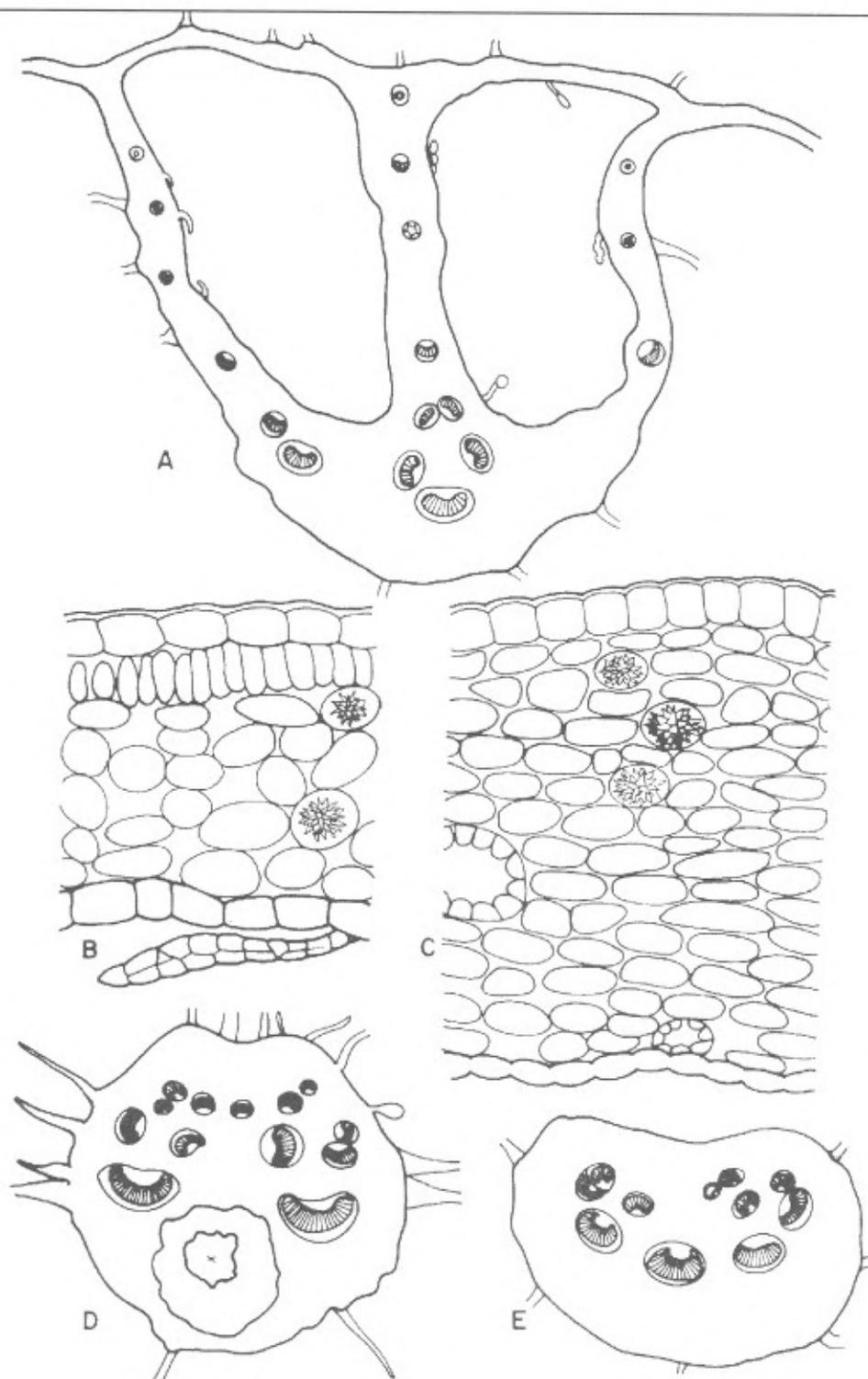


Figura 2. Anatomía de *Allomaieta grandiflora*. A- domacio, B- detalle de la pared adaxial del domacio, C- detalle de la pared abaxial del domacio, D- peciolo con cavidad del domacio, E- peciolo (Xilema rayado).

y forman un círculo cerrado en las especies *A. caucana* y *A. ebejicosana*. *A. grandiflora* presenta la parte final de los domacios, y en su porción media los haces conductores forman una media luna.

Los domacios de *A. grandiflora* en su cara adaxial presentan parénquima en empalizada y un mayor número de capas de parénquima esponjoso, las drusas son frecuentes; las demás paredes limitantes de los domacios carecen de empalizada y tienen una mayor cantidad de parénquima esponjoso. En la porción que se continúa con la nervadura media de la hoja existen varios haces conductores, las esclereidas y las drusas son más abundantes que en las demás partes de los domacios. La epidermis interna lleva tres tipos de tricomas, dos glandulares con cabeza pluricelular en un tipo adpresos a la epidermis, en otros erectos; en el tercer tipo las células están lignificadas. Los pelos secretores al parecer segregan vanilina, sustancia apetecida por las hormigas de acuerdo a lo mencionado por **Roth** (1976) para domacios de *Tococa*.

Entre los posibles criterios anatómicos útiles para la separación de las especies aparecen la posición de drusas en el mesófilo, las variaciones en la morfología y la agrupación de las esclereidas, al número de células de parénquima en empalizada por célula epidérmica, la anatomía del peciolo, etc.

**INFLORESCENCIAS:** Según **Mora – Osejo** (1987) correspondería a un antocladioide, los cuales se definen como "sistemas complejos que culminan unas veces en holocaulos con antotagmas reducidos a una flor terminal o a cimoides y otras veces en antoblastos monopodiales con innovación iterativa simpodial y órganos foliares de renuevo frondosos". Estas inflorescencias antocladoides corresponden en este caso a lo que denominamos comúnmente dicasios simples, dicasios compuestos, cimas helicoidales o tirsos; en la misma rama algunas veces no es raro encontrar una forma compleja de inflorescencia en las ramillas terminales y más reducida en su conformación en las ramillas inferiores.

La posición como corresponde a la de los antocladoides es terminal, pero un desarrollo acelerado de la yema vegetativa lateral proximal provoca un desplazamiento de la inflorescencia terminal, la cual en términos generales su no se desarrolla con tanta fuerza, aparentando en una visión desprevenida rápida una posición lateral (evección dislocada). La observación obtenida de los ejemplares de herbario de las diferentes especies tanto en *Allomaieta* como en *Cyphostyla* nos confirman esta aseveración.

**FLORES:** Las flores pueden presentar coloración blanca o lila – morada, su tamaño puede variar desde relativamente pequeña (menos de 1 cm) en el botón floral o (más de 1.5 cm) en el botón floral en las de mayor tamaño.

**CALIZ:** presenta forma de caperuza (Caliptriforme) y al abrirse se desprende (Caduco) en 5 o raro 6 piezas individuales o en grupo de piezas, las piezas o sépalos presentan externamente abundante pubescencia de tipo variado e internamente son glabros.

**PETALOS:** presentan una asimetría variable, pero en términos generales su superficie tiende a ser asimétrica; su consistencia membranacea muy delgada con el retículo generalmente marcado. Androceo isostémono, filamentos laminares angostos en forma de ese alargada, curvos en la base y el ápice.

**ANTERAS:** oblongas un poco rostradas en el ápice, sin prolongaciones del conectivo el cual es más ensanchado y rodeando únicamente la base formando un engrosamiento translucido; ventralmente la antera acanalada, el canal o hendidura ventral muy pronunciado, la dehiscencia es por poro ventral apical.

**OVARIO:** completamente incluido, unido al tálamo o receptáculo floral, y netamente infero; estilo filiforme apicalmente uncinado, la parte correspondiente al gancho o curvatura más engrosada que el resto del estilo y, con estigma terminal generalmente translucido. (La forma proyectada es la del mango o parte apical de un paraguas). Esta forma tan conspicua del estilo caracteriza este grupo de plantas; placentación es axilar y placentas largas unidas únicamente en la parte central de la axila, con numerosos rudimentos seminales.

**FRUTO:** corresponde a un velatidio según el concepto de **Baumgratz** (1983 –85). Caracterizado por un fruto capsuloide dehiscente desde el ápice hasta ca. de la mitad de su longitud, muy semejante al encontrado en los géneros *Adelobotryx* o *Graffenrieda*, cuando esta seco y viejo semeja una canastilla, generalmente con 10 bandas o costillas. Semillas numerosas de forma obpiramidal, triangular y angulosas.

**HABITAT:** la mayoría de las especies se desarrollan en la selva neotropical subandina asociada o bajo el dosel de especies de los géneros: *Guateria*, *Lachmella*, *Dendropanax*, *Brunellia*, *Chrysochlamys*, *Tovomita*, *Sloanea*, *Alchornea*, *Croton*, *Sapium*, *Casearia*, *Vismia*, *Calatola*, *Critonella*, *Nectandra*, *Echswelera*, *Calliandra*, *Inga*, *Blakea*, *Meriania*, *Guarea*, *Cedrella*, *Trichilia*, *Brossimun*, *Castilla*, *Clarisia*, *Cecropia*, *Ficus*, *Olmedia*,

*Pourouma*, *Panopsis*, *Cinchona*, *Farama*, *Guettarda*, *Theobroma*, *Solanum*, *a*, *Miconia* y *Aegiphila*, elementos característicos de esta zona altitudinal entre *Conostegia*, *Ossaea*, *Conomorpha*, *Cassipourea*, *Palicourea*, *Psychotria*, *Cedroni* 1200 - 1900 msnm; dos especies viven en la selva neotropical andina en la cual predominan las especies de los géneros *Quercus*, *Weinmannia*, *Brunellia*, *Clusia*, *Bejaria*, *Ternstroemia*, *Drimys*, *Geissanthus*, *Daphnopsis*, *Miconia*, *Oreopanax*, *Vallea*, *Eugenia*, *Gaiadendron*, *Palicourea*, *Ladenbergia*, *Cinchona*, *Psychotria*, *Cordia*, *Tournefortia*, *Xylosma*, *Abatia*, *Piper*, *Bocconia*, *Escallonia*, *Berberis*, *Symplocos*, *Duranta*, *Clethra*, *Rhamnus*, *Alnus*, *Ilex*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Vernonia*, *Gynoxys*, *Pilea*, *Fuchsia*, *Peperomia*, *Hedyosmum*, *Berberis*, *Gaultheria*, *Vaccinium*, *Geranium*, etc., a los 2240 msnm; y una especie en la selva neotropical inferior en la cual predominan los géneros: *Tapirira*, *Lachmella*, *Couma*, *Jacaranda*, *Matisia*, *Protium*, *Dacryodes*, *Tovomita*, *Sloanea*, *Hasseltia*, *Vismia*, *Nectandra*, *Eschweilera*, *Gustavia*, *Inga*, *Byrsonimia*, *Miconia*, *Cedrela*, *Cecropia*, *Ficus*, *Cespedesia*, *Hirtella*, *Licania*, *Apeiba*, *Lucea*, *Vochysia*, *Aphelandra*, *Ossaea*, *Tococa*, *Trophis*, *Piper*, *Psychotria*, *Calathea*, *Centropogon*, *Begonia*, *Columnea*, *Pilea*, *Jussiaea*, etc., entre los 500 - 700 msnm.

La mayor concentración de especies se encuentra en Antioquía con 6 especies endémicas, una más es compartida entre Antioquía y Cundinamarca y la otra es endémica del Cauca en el parque Nacional Natural Munchique.

El análisis de los caracteres más sobresalientes utilizados para la separación genérica nos permite proponer como sinónimo del género *Allomaieta* a *Cyphostyla* teniendo en cuenta la similitud de caracteres exhibidos; igualmente la conservación de la tribu *Cyphostyleae* con el género *Allomaieta* y con los caracteres esbozados más adelante. Excluir debido a las características *Alloneuron* (Seusu lato), el estudio detallado de su morfología lo aparta de esta tribu aún considerado el fruto por **Wallnofer** (1996) como una cápsula; si se revisa los ejemplares de Cuatrecasas de *Alloneuion ulei* Pilg, el fruto parece rasgarse sin tener huellas precisas de dehiscencias, aún las semillas se encuentran rodeadas de mesocarpo lo cual sugiere sea una baya, por tanto es acertada su ubicación en la tribu *Miconieae*, muchos otros caracteres pueden encontrarse en algunos géneros de las otras tribus por separado, ejemplo el ovario completamente infero unido al receptáculo lo cual se presenta en el género *Bertolonia*, pero es triquetro no redondo. El carácter más sobresaliente constante en todas las especies es la forma del estilo,

esta forma no se presenta en ninguno de los géneros conocidos, unidos a las otras características analizadas como las anteras y el reborde del conectivo, etc., nos inclinan a proponer la conservación de la tribu.

*Cyphostyleae* Gleason, Bull. Torrey Bot. Club 56:97.1929

Plantas arbustivas; hojas plinervadas, hojas del mismo nudo anisófilas al menos en algunos de los nudos; membranáceas muy delgadas; flores pentámeras (una especie hexámera); cáliz e hipanto con abundante indumento; cáliz calitriforme, deciduo en la antesis en piezas separadas o en grupos de piezas; estambres con los filamentos en forma de ese; anteras con dehiscencia por poros ventrales apicales, conectivo sin formar apéndices, generalmente formando en la parte basal un reborde grueso translúcido; ovario netamente infero unido al receptáculo floral; placentación axilar, placentas unidas solamente en el ángulo formado por los tabiques, con numerosos rudimentos seminales muy pequeños; estilo redondo, con la parte apical engrosada y arqueada dando la apariencia de mango de un paraguas; estigma terminal translúcido; fruto una cápsula terete dehiscente generalmente en la mitad de su longitud, cuando vieja formando una canastilla con generalmente 10 radios o costillas, semillas numerosas obpiramidales.

Genero tipo: *Allomaieta* Gleason, Bull. Torrey Bot. Club 56: 98.1929

*Allomaieta* Gleason, características iguales a las de la tribu.

*Cyphostyla* Gleason, Bull. Torrey Bot. Club 56: 99.1929

Distribución: endémico de Colombia, su hábitat es la selva neotropical inferior y la selva neotropical subandina y andina en los departamentos de Antioquía, Cauca y Cundinamarca en la franja comprendida entre los 500 -- 2240 msnm.

Especie típica: *Allomaieta grandiflora* Gleason

#### CLAVIS SPECIERUM GENERIS ENDEMICI *ALLOMAIETA* GLEASON

1. Floris magni, alabastra longiora quam 1.5 cm

2. Folia elliptica

3. Margo conspicue dentatus

4. Lamina foliaris anguste elliptica et  
hispidia

1. *A. caucana*

4. Lamina foliaris ample elliptica  
et villosa 2. *A. villosa*
3. Margo leviter dentatus, lamina foliaris  
breviter scabra 3. *A. strigosa*
2. Folia aliter
5. Lamina foliaris pandurata, facies  
strigosa, dorsum lanuginosum 4. *A. grandiflora*
5. Lamina foliaris ovata, utrinque  
lanuginosa 5. *A. hirsuta*
1. Flores parvi, alabastra minora quam 1 cm
6. Flores purpurei, lamina foliaris ovata  
6. *A. pancurana*
6. Flores albi, lamina foliaris elliptica
7. Alabastra cum indumento cremeo;  
petala plus minusve symmetrica,  
trichomata brevia basi ampullacea  
facialiter 7. *A. zenufanasana*
7. Alabastra cum indumento brunneo,  
petala asymmetrica; trichomata  
longa basi ampullacea facialiter  
8. *A. ebejicosana*

*Allomaieta caucana* Lozano C. sp. nov. Fig. 3

Tipo. COLOMBIA, Cauca: El Tambo, Parque Nacional Natural Munchique: La gallera. Altura 1500 - 1900 msnm., Abr. 16. 1994., C. Acevedo, F. González & J. Alvarez 90, Fl. (Holotipo e Isotipo COL)

Arbusto de ramas escandentes, ramillas cortas delgadas con indumento hispido, entre nudos 1.3 - 3.0 x 0.2 - 0.3 cm con nudos más o menos marcados engrosados. Hojas desiguales en cada nudo pecioladas, pelos redondos hispidos, 0.8 - 2.4 (M = 1.4) x 0.1 - 0.18 (M = 0.12) cm; lamina foliar elíptica lanceolada, levemente falcada desiguales en cada nudo (anisofilas) una de ellas mucho más pequeñas, 6.6 - 16.2 (M = 11.1) x 2.1 - 3.6 (M = 2.7) cm, papiráceas cuando jóvenes totalmente cubiertas con indumento hispido de color leonado, por ambas superficies, parcialmente caduco en las hojas adultas, base foliar redonda algo asimétrica, ápice foliar largamente caudado, margen foliar dentado, hojas 5 plinervadas exceptuando la marginal, los nervios secundarios prominentes por ambas superficies, retículo prominulo por el envés.

Inflorescencia terminal hasta de 8 cm longitud. ejes de la inflorescencia hispidos con pocas flores (hasta 8); dicasio con las inflorescencias parciales monocasiales en cincinos bifloros, capullos florales 1.8 cm longitud, flores pediceladas hasta 2 - 2.5 cm longitud, articulados ca. 0.5 cm de la flor. Bracteas florales aciculares caducas. Cáliz calitriforme decíduo con ruptura transversal, sépalos 6, subulados, 1.2 x 0.2 cm interiormente glabros, exteriormente hispidos; pétalos rosado - lila 6, ovados asimétricos o casi orbiculares muy desiguales en forma, delgadamente membranaceos con reticulacion marcada 2.5 x 2.0 - 2.5 cm glabros, base unguiculada más engrosada, ápice redondeado; margen entero. Androceo de 6 estambres, filamentos lineares encorvados 0.5 cm longitud en la flor abierta, anteras oblongas gruesas ventralmente formando un profundo canal que separa las 2 tecas 0.4 cm longitud x 0.15 cm en diámetro, abriéndose cada teca por un poro dorsal apical, conectivo dorsal y basalmente engrosado, hipanto 0.4 cm longitud cubierto totalmente de pelos hispidos, ovario totalmente incluido en el hipanto, pistilo 0.9 cm, ovario 0.3 cm apicalmente glabro estilo redondeado apicalmente incurvado (semejante a una pipa de fumar) engrosada en la parte curvada, la parte estigmática más clara y con flecos, 5 lóculos con placentas axilares largas 0.2 cm longitud unidas solamente en el centro, con numerosas semillas. Fruto no visto.

Hábitat: En la selva neotropical subandina en el departamento del Cauca.

*Allomaieta caucana*. Por el tamaño de las flores es a fin a *A. villosa* de la cual se separa por la forma elíptica de las hojas 11.1 x 2.7 cm promedio vs. anchamente elíptica 13 x 5 cm promedio, indumento hispido vs. villosa, hexamera vs. pentamera, etc. Por la forma de las hojas se asemeja a *A. zenufanasana* de la cual se aparta por las flores hexámeras, más grandes vs. pentámeras pequeñas, flores rosado - lila vs. blancas, hojas relativamente grandes, etc.

2. *Allomaieta villosa* (Gleason) Lozano C. comb. nov.

Fig. 3

*Cyphostyla villosa* Gleason, Bull. Torrey Bot. Club 56:100.1929

Tipo. COLOMBIA, Antioquia: Fredonia, vecindad de Medellín, 30 Jun. 1928, Toro 1038 (NY)

3. *Allomaieta strigosa* (Gleason) Lozano C. comb. nov.

Fig. 4

*Cyphostyla strigosa* Gleason, Phytologia 1: 36 - 37 1933

Tipo. COLOMBIA, Boyaca, región del alto Chapón, alt. Ca. 2100 m, *Lawrence 419* (Holotipo NY, Isotipo MO)

**4. *Allomaieta grandiflora*** Gleason, Bull. Torrey Bot. Club 56:98. 1929 Fig. 4

Tipo. COLOMBIA, Cundinamarca: Paime, *Ariste - Joseph 1083*, fl, fr (Holotipo US, Isotipo NY)

**5. *Allomaieta hirsuta*** (Gleason) Lozano C. comb. nov. Fig. 5

*Cyphostyla hirsuta* Gleason, Bull. Torrey Bot. Club 56: 99 - 100. 1929

Tipo. COLOMBIA, Antioquía, Primavera, Alt 1800 - 2200 m, 22 sep. 1922, *Pennell 10963*, Fl. (Holotipo NY)

**6. *Allomaieta pancurana*** Lozano C. sp. nov. Fig. 5

Tipo. COLOMBIA, Antioquía: San Luis, 16 Km SO de la partida a San Luis, sobre la vía Medellín - Bogotá, vereda La Josefina, Alt 800 msnm; *Callejas, Betancur, Arbelaez & Correa 4183*, Fl. (Holotipo COL)

Arbolito o arbusto 3 - 6 m alto, ramillas redondas hispidas indumento de pelos uncinados caedizos. en las ramas viejas con muy pocos pelos, nudos más o menos marcados un poco más gruesos que los entrenudos, entrenudos 1.1 - 2.3 (M = 1.55) x 0.25 - 0.3 (M = 2.7) cm, redondos, lenticelas redondas, hojas membranaceas pecioladas del mismo nudo desiguales (anisófilas); Peciolos 1.1 - 2.7 x 0.09 - 0.13 cm teretes hispídos, lamina foliar ovada a anchamente elíptica, o base redondeada, ápice agudo, margen dentada pilosa. Hojas 5 plinervadas exceptuando la marginal, haz y envés estrigosos. el indumento de las venas más largo, 3.8 - 13.3 x 2.4 - 6.8cm, retículo impreso por la haz, prominente por el envés.

Inflorescencias cimosas terminales, a yeces (1-) 3 - 9 flores en cimas trifloras, 6.10 cm longitud, pedicelo de la inflorescencia hasta 2.10 cm de longitud, bracteas de la inflorescencia y flores largamente y angostamente espatuladas 0.8 x 0.1 cm, ejes y bracteas hispídos; botones florales 0.9 cm de longitud. Flores pentamerar, cáliz pentámeros, cáliz calitriforme, sépalos 5 filiformes hispídos 0.7 x 0.1 cm caducos, cubiertos por pelos largos de color gamuza; pétalos 5 asimétricos obtriangulares, delgados 2.1 x 1.5 cm, base unguiculada angosta, ápice mucronado entero, color rosado con la base teñida de

amarillo, retículo visible; filamentos lineares glabros 0.3 cm longitud, anteras oblongas glabras gruesas 0.35 x 0.15 cm, ventralmente profundamente canaliculadas, conectivo sin prolongaciones. ápice muy encorvado: hipanto acopado 03 x 04 cm, cubierto por abundante indumento hispido, ovario infero totalmente incluido en el hipanto apicalmente glabro, estilo redondeado glabro 0.3 cm longitud, engrosado y fuertemente curvado (semejante a una pipa) en el ápice, estigma translúcido, loculos 5. placentas axilares largas unidas en la parte central, rudimentos seminales muy pequeños numerosos. Fruto inmaduro 0.55 x 0.5 cm con numerosas semillas cuneiformes paralelas con el rafe cubiertas por una membrana más o menos translúcida que la rodea.

Material adicional: Colombia: Antioquía: San Luis, Quebrada La Cristalina, Alt 500 - 700 msnm; Enero 22 - 87, *J. G. Ramírez & D. Cárdenas 384* Fr (COL); Ene 11 - 86, *J.G. Ramírez & D. Cárdenas 134*, Fl. (COL); Dic. 4 - 86, *J. G. Ramírez, D. Cárdenas 229*, fl (COL); fl. (COL); May. 22 - 87, *J. G. Ramírez & D. Cárdenas 937*, fl (COL); San Carlos, Embalse Punchina 780 msnm; May. 18 - 88, *J. L. Zarucchi, P. Velasquez, O. Escobar & A. Ayala 6662*, fl. (COL).

*Allomaieta pancurana* se asemeja a en la forma y tamaño de la hoja 13 x 5 cm, vs. 3.8 - 13.3 x 2.4 - 6.8 cm. difiere en el tamaño de las flores grandes vs. pequeñas, en el borde foliar levemente dentado vs. marcadamente dentado, etc.

El nombre específico alude al grupo indígena Pancurana del grupo lingüístico Quimbaya existente antes de la llegada de los españoles.

**7. *Allomaieta zenufanasana*** Lozano C. sp. nov. Fig. 6

Tipo COLOMBIA, Antioquía: Amalfi, Quebrada "Guayabito" Alt 1600 msnm; Feb. 15. 1993, *D. Tuberquia & G. Gómez 139* fl. Holótipo(COL)

Arbusto 2.5 m alto; ramillas delgadas 0.15 cm en diámetro, hispídul, entre nudos cilíndricos 1.4 - 2 cm longitud, más gruesos ca. 0.2 cm en diámetro. Hojas pecioladas las del mismo nudo desiguales (anisófilas) peciolos redondos hispídos en las hojas pequeñas 0.4 - 0.5 x 0.1 cm; en las hojas grandes 1 - 1.2 x 0.1 cm; lamina foliar elíptica o lanceolada, las de menor tamaño del mismo par 4.4 - 5.7 x 1.9 - 2.4 cm; la de mayor tamaño 6 - 8.3 x 2.3 - 3 cm, 5 plinervadas incluyendo la marginal, haz y envés estrigoso indumento dispuesto principalmente sobre las venas y generalmente de mayor longitud que en el resto de la superficie, base redonda un poco asimétrica, ápice acuminado, margen dentado hispido,



Figura 3. *Allomaieta caucana*, A- ramillas, B- detalle de la inflorescencia. *Allomaieta villosa*, C- ramilla, D- detalle de la flor.

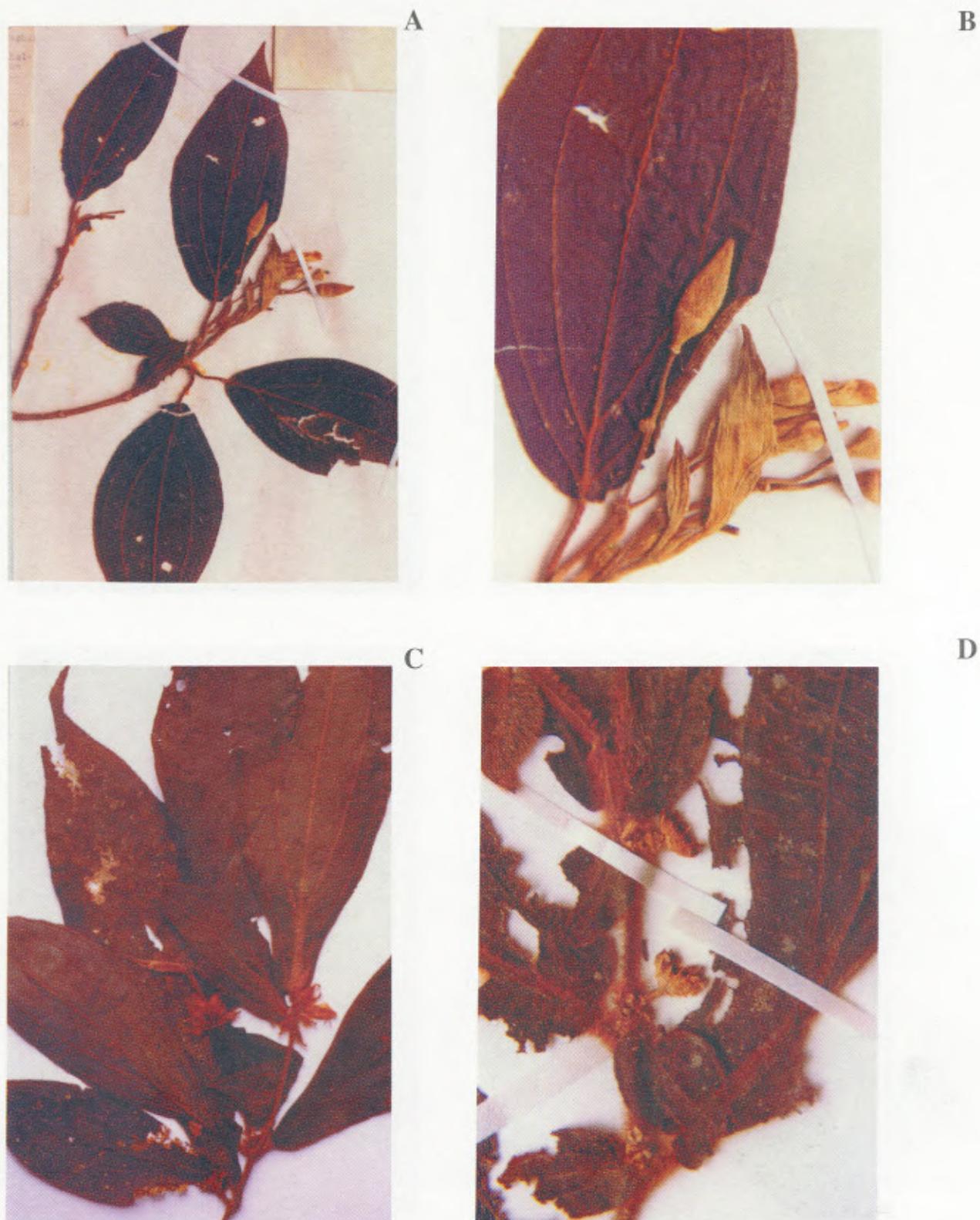


Figura 4. *Allomaieta strigosa* A- ramilla, B- detalle de la inflorescencia. *Allomaieta grandiflora*, C- ramilla, D- detalle del fruto.



A



C



Figura 5. *Allomaieta hirsuta* A- ramilla, B- detalle de la inflorescencia. *Allomaieta panicurana* C- ramilla, D- botón floral y fruto inmaduro.



Figura 6. *Allomaieta zenufanasana* A- ramillas, B- detalle de la inflorescencia. *Allomaieta ebejicosana* C- ramilla, D- detalle de capullos florales y frutos.

venas secundarias marcadas por ambas superficies, retículo obscuro por la haz prominulo, por el envés.

Inflorescencias encima tirsoideas hasta con 12 flores de color blanco, 4.5 cm longitud, pedicelos de la inflorescencia 1.0 cm longitud, ejes hispídos, bracteas florales filiformes hispídas 0.5 – 0.6 cm longitud; botones florales blancos hispídos 1 x 0.3 cm, cáliz caliptriforme, sépalos 5 triangulares caducos, interiormente glabros, exteriormente hispídos, 0.7 x 0.1 cm, basalmente truncado, apicalmente agudo, corola con 5 pétalos delgados de color blanco, basalmente con líneas verde amarillentas, obovados asimétricos, delgados con el retículo marcado, 1.1 x 0.8 cm, base oblicua muy estrecha, ápice apiculado; estambres 5, filamentos acintados 0.4 cm longitud, anteras oblongas 0.2 en longitud, profundamente canaliculadas ventralmente con dehiscencia por poro ventral apical; pistilo 0.5 cm longitud, hipanto hispído 0.3 cm longitud acopado, estilo filiforme apicalmente engrosado y encorvado 0.3 cm longitud, estigma translúcido. Fruto no visto.

*Allomaieta zenufanasana* se asemeja a *A. ebejicosana* en el tamaño y color de las flores, difiere en el tamaño relativo de las hojas, en el indumento color crema, pétalos generalmente asimétricos, tricomas cortos, etc.

El epíteto específico alude al grupo indígena Zenufana del grupo lingüístico de los Zenues, pobladores antes de la llegada de los españoles.

#### 8. *Allomaieta ebejicosana* Lozano C. sp. nov. Fig. 6

Tipo. COLOMBIA, Antioquía, Caldas: vereda La Corrala 2440 msnm; 3 Mar 1986, L. Arbert de Escobar, S. Morales & J. R. Giraldo 6378 fl, fr. (Holotipo COL, Isotipo COL)

Arbusto 1 – 1.5 m alto, ramillas teretes hispídas entre-nudos marcados 1.8 – 3.0 x 0.15 – 0.20 cm nudos engrosados 0.25 – 0.30 cm en diámetro; hojas peciolado desiguales en cada nudo, peciolas desiguales en longitud en las hojas del mismo nudo, redondos hispídos, en las hojas pequeñas 0.5 x 0.1, en las hojas grandes 1.3 – 1.6 x 0.1 cm; lámina foliar elíptica, las pequeñas 1.8 – 5.4 (M = 3.7) x 0.7 – 2.2 (M = 1.5) cm, en las grandes 8.5 – 10.5 (M = 9.5) x 2.1 – 4; (M = 3.1) cm, 5 plinervadas incluyendo la marginal, estrigosas por ambas superficies, venas secundarias prominentes por el envés.

Inflorescencias terminales cimosas tirsoideas, las parciales dicasios hasta 27 flores, hasta 10.5 cm longitud, ejes de la inflorescencia y capullos florales cubiertos de indumento hispído. Brácteas florales lineares 0.3 cm

longitud cubierta con indumento hispído. Flores blancas pentámeras. Cáliz caliptriforme, sépalos oblongos 0.8 x 0.2 cm con el retículo marcado, dorsalmente hispído, ventralmente glabro, caducos. Pétalos 5 obovados más o menos simétricos 0.8 x 0.6 cm, base unguiculada más gruesa, ápice apiculado, borde liso, delgados y con el retículo acanalado. Pistilo 0.6 cm long., filamento acintado 0.4 cm longitud; antera 0.27 oblonga fuertemente acanalada, estilo y estigma 0.4, ovario completamente infero glabro en la parte superior, 5 carpelos. Frutos dehiscentes apicalmente por las 5 suturas, generalmente con 10 costillas marcadas visibles en el fruto, dehiscentes cuando viejos a manera de canastilla 0.5 cm en diámetro, semillas cuneiformes abundantes muy pequeñas.

*Allomaieta ebejicosana* es más a fin a *A. zenufanasana* en el tamaño y color de las flores; se aparta en las hojas relativamente más anchas, el indumento marrón. los pétalos asimétricos y los tricomas más largos.

El nombre específico alude al grupo indígena de los Ebejicos del grupo lingüístico de los Catis, pobladores de la región antes de la llegada de los españoles.

#### Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Departamento de Biología por permitirnos seguir trabajando en el Herbario Nacional Colombiano y en el Laboratorio de Morfología. Al Herbario del New York Botanical Garden y Missouri Botanical Garden por habernos facilitado los tipos. Al Padre Pedro Ortiz por su colaboración en la versión latina de las claves, al biólogo Carlos Alberto Parra Osorio por haber tomado las fotografías que acompañan este trabajo. A la Dr. Renner por su ayuda en la consecución de bibliografía.

#### Bibliografía

- Baas, P. 1981. A note on stomatal and crystal in the leaves of Melastomataceae. *Blumea* 27: 475 - 479
- Baumgratz, J. F. A. 1983 - 1985 Morfología dos frutos e sementes de Melastomataceae Brasileiras. *Arq. Jard. Bot. Rio de Janeiro* 27: 113 - 155
- Gleason, H. A. 1929. Studies on the flora of northern South America 12. *Bull. Torrey Bot. Club* 56: 97 - 100
- Klucking, E. P. 1989. Leaf venation patterns 4. Melastomataceae pp. 283, pls. 118. Edit. J. Cramer, Berlin
- Mentink, H. & BAAS. 1992 Leaf anatomy of the Melastomataceae, Memecylaceae and Crypteroniaceae. *Blumea* 37: 189 - 225.

- Mora – O., L. E.** 1987 Estudios morfológicos, autoecologicos y sistématicos en Angiospermas. Acad. Colomb. Ci. Ex. Fis. Nat. Bogotá, 195 pp.
- Parisca, L.** 1972. Morfología y Anatomía de las semillas de la familia Melastomataceae (1). Soc. Venez. Ci. Nat. **29** (122/123): 633 – 640
- Renner, S. S.** 1993. Phylogeny and classification of the Melastomataceae and Memecylaceae. Nord. J. Bot. **13** (5): 519 – 540
- Roth, I.** 1976. Estructura interna de los domacios foliares en *Tococa* (Melastomataceae). Acta Biol. Venez. **9** (2): 221 – 258.
- Wallnofer, B.** 1996. A revision of the genus *Alloneuron* Pilg. and segregation of *Wurdaston* gen. n. (Melastomataceae) Ann. Naturhist. Mus. Wien **98B** supplement: 447 – 462.
- Whiffin, T. & A. Spencer T.** 1972. The systematic significance of seed morphology in the Neotropical Capsular fruited Melastomataceae. Amer. J. Bot. **59** (4): 411 – 422.
- Wurdack, J. J.** 1986. Atlas of Hairs for Neotropical Melastomataceae. Smithsonian. Contr. Bot. **63**: 1 – 80.

# PTERIDÓFITOS DE COLOMBIA I. COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LAS LYCOPODIACEAE

por

María Teresa Murillo-Pulido<sup>1</sup> & José Murillo-Aldana<sup>1</sup>.

## Resumen

**Murillo-Pulido, M. T. & J. Murillo-Aldana:** Pteridófitos de Colombia I. Composición y distribución de las Lycopodiaceae. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(86): 19-38. 1999. ISSN 0370-3908.

La familia Lycopodiaceae en Colombia esta representada por tres géneros y 55 especies. *Huperzia* es el más diverso con 42 especies, mientras que *Lycopodiella* y *Lycopodium* poseen 9 y 4 respectivamente. La familia esta distribuida ampliamente en el país y desde el nivel del mar hasta los 4500 m de altura, pero la mayor diversidad se encuentra en la zona andina entre los 3000 a 3500 m. *Lycopodiella* es el género mas prolífico en altitudes menores de 500 m, mientras que *Lycopodium* no se registra a menos de 1000 m. Se presenta una clave para los géneros y una lista de las especies ordenadas alfabéticamente: además se hacen anotaciones de distribución geográfica y altitudinal. Con base en los caracteres de los ejemplares estudiados fue imposible delimitar algunas especies, por lo tanto se incluyen como sinónimos *H. capillaris* bajo *H. linifolia*, *H. homocarpa* bajo *H. taxifolia*, *H. phyllicifolia* bajo *H. subulata* y se confirma a *H. lechleri* como sinónimo de *H. hippuridea*. Se registra por primera vez para el país a *H. urbanii*

**Palabras claves:** Colombia, Diversidad, Lycopodiaceae, *Huperzia*, *Lycopodiella*, *Lycopodium*, Pteridófitos.

## Abstract

Lycopodiaceae in Colombia has three genera and 55 species. The most diversified is *Huperzia* with 42 species while *Lycopodiella* has 9 and *Lycopodium* 4. The family is widely distributed in the country from sea level to 4500 m, but is principally found in the andean region between 3000 and 3500 m. *Lycopodiella* is most abundant in lowlands, while *Lycopodium* is not found below 1000 m of altitude. A key for genera is presented and a checklist of species with comments about geographical and altitudinal distribution is given. *Huperzia capillaris* is a synonym of *H. linifolia*, *H. homocarpa* of *H. taxifolia*, and *H. phyllicifolia* of *H. subulata*. *Huperzia lechleri* is confirmed as a synonym of *H. hippuridea*. *Huperzia urbanii* is recorded for the first time for the country.

**Key words:** Colombia, Diversity, Lycopodiaceae, *Huperzia*, *Lycopodiella*, *Lycopodium*, Pteridophytes.

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. A.A. 7495, Santafé de Bogotá, D.C. jmurillo@ciencias.ciencias.unal.edu.co

## Introducción

Lycopodiaceae es una familia cosmopolita de 4 géneros con aproximadamente 380 especies (Øllgaard 1992), en América se encuentran ampliamente distribuidas desde Alaska hasta la Tierra del Fuego (Tryon & Tryon, 1982). En el Neotrópico se registran ca 190 especies siendo *Huperzia* el género más diversificado con 157 (Øllgaard, 1995). Los trabajos que se tienen para la familia en Colombia son escasos; Santa (1989) registra 39 especies andinas y Murillo & Harker (1990) en un estudio más extenso citan 57 especies ampliamente distribuidas en el país y desde el nivel del mar hasta 4600 m de altura.

Es una familia con caracteres poco diferenciables y por lo tanto se presenta gran confusión al tratar de definir los taxones. Wilce (1972) basado en la morfología de las esporas delimitó muy bien los géneros *Huperzia* (esporas foveolado-fosuladas), *Lycopodiella* (esporas rugosas) y *Lycopodium* (esporas reticuladas), no obstante a nivel específico la situación es confusa; puesto que el desarrollo de las especies en condiciones ecológicas distintas permite una gran plasticidad fenotípica que impide definir las claramente. Se ha dado mucha importancia a la forma y al tamaño de la hoja y al diámetro del tallo para separar especies, muchas veces estos caracteres se mezclan y no son lo suficientemente diferenciables para determinar un ejemplar. Es así como Herter (1949, 1950) reconoció más de 400 especies de *Huperzia*, mientras que Tryon & Tryon (1982) 250 y Øllgaard (1992) ca 380. Es necesario emprender un intenso estudio de campo para establecer los rangos de variación inter e intraespecíficos para un mejor conocimiento de la familia.

## Métodos

Se revisaron 1700 exsiccados del herbario Nacional Colombiano y del herbario de la Salle, algunas especies fueron estudiadas en el campo. Los datos de las etiquetas de cada ejemplar fueron incluidos en una base de datos para un mejor procesamiento de la información. Las determinaciones fueron confirmadas en su mayoría y el material indeterminado se identificó con base en las claves existentes en la literatura (Øllgaard 1988, 1994). Las especies de cada género se agruparon por caracteres conspicuos, se ordenaron alfabéticamente y además se hicieron anotaciones de distribución geográfica y altitudinal. Las colecciones de COL se citan en el anexo 1.

## Resultados

### Composición

La familia Lycopodiaceae en Colombia está formada por tres géneros y 55 especies, lo cual representa el 27%

de las especies neotropicales. El género más diverso es *Huperzia* con 42 especies; y escasamente representados están *Lycopodiella* con 9 y *Lycopodium* con 4. Las especies más comunes son: para *Huperzia*: *H. reflexa*, *H. brevifolia*, y *H. crassa*; para *Lycopodiella*: *L. alopecuroides* y *L. cernua* y para *Lycopodium*: *L. clavatum* y *L. thyoides*; las menos frecuentes son *H. diana*, *H. dichotoma*, *H. echinata*, *H. lindenbergii*, *H. pearcei*, *H. rigida*, *H. schlimii* y *Lycopodiella lehmannii*.

Además de los taxones encontrados, en la literatura se citan 23 especies para el país de las cuales no se tuvo material de referencia, por lo cual no se incluyen en este estudio hasta que se conozcan y aclare su estatus y distribución; en algunos casos los nombres son dudosos. Si se consideran a estos taxones, la familia en Colombia estaría representada por 78 especies, *Huperzia* por 61, *Lycopodiella* 11 y *Lycopodium* 6, representando el 39% de las especies neotropicales. Comparando esta diversidad con la encontrada en países cercanos, Colombia es el más diverso seguido por Ecuador (77) y Perú (63).

Las especies que no se incluyen son: *Huperzia amentacea* (B. Øllg.) Holub, *Huperzia apolinari-mariae* (Nessel) Holub, *Huperzia arcuata* B. Øllg., *Huperzia aristei* (Nessel) Rolleri & Deferrari, *Huperzia catacachiensis* (Nessel) B. Øllg., *Huperzia cuneifolia* (Hieron.) Holub, *Huperzia eremorum* (Rolleri) Holub, *Huperzia filiformis* (Sw.) Holub, *Huperzia hypogaea* B. Øllg., *Huperzia killipii* (Herter) B. Øllg., *Huperzia mollicoma* (Spring) Holub, *Huperzia myrsinites* (Lam.) Trevis., *Huperzia pithyoides* (Schlecht. & Cham.) Holub, *Huperzia rigida* (J.F. Gmel.) Holub, *Huperzia sarmentosa* (Spring) Trevis., *Huperzia schmidtchenii* (Hieron.) Holub, *Huperzia sellifolia* B. Øllg., *Huperzia tenuis* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Trevis., *Huperzia unguiculata* B. Øllg., *Lycopodiella camporum* B. Øllg. & Wind., *Lycopodiella stevermarkii* B. Øllg., *Lycopodium crucis-australis* (Herter) C.V. Morton y *Lycopodium innocentium* (Herter) C.V. Morton.

### Distribución geográfica

La familia está ampliamente distribuida en todo el país, pero la mayor concentración de especies se encuentra en la región andina (48) (fig. 1.). En las cordilleras Oriental (38) y Central (33) se presenta la mayor diversidad, en tanto que en la cordillera Occidental solo crecen 22 especies (fig. 2); 14 especies son comunes a las tres cordilleras.

En la región atlántica crecen 12 especies de Lycopodiaceae, principalmente en la Sierra Nevada de

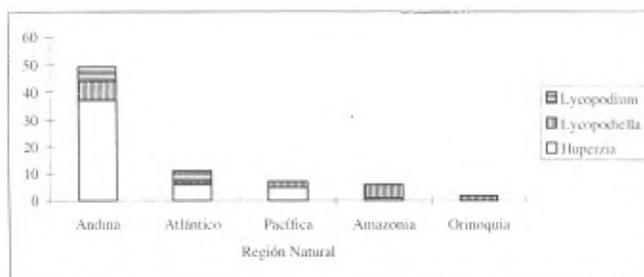


Figura 1. Distribución de las Lycopodiaceae por regiones naturales

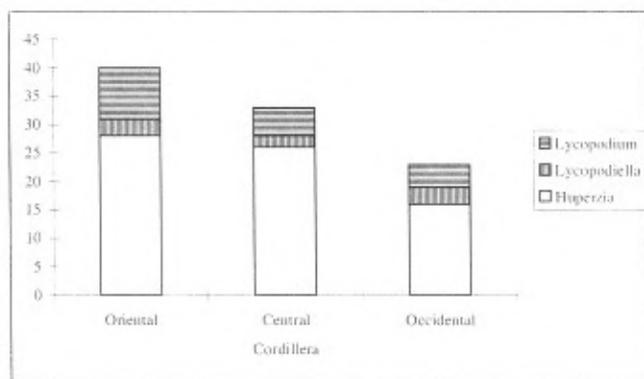


Figura 2. Distribución de las Lycopodiaceae en las tres cordilleras

Santa Marta y en la serranía de Macuira. En la región pacífica y la Amazonia el número de especies disminuye a 7 y 11 respectivamente y en la Orinoquia solo se encuentran dos. No se ha registrado *Huperzia* en la Orinoquia, *Lycopodiella* en la región atlántica y *Lycopodium* en la Amazonia y Orinoquia.

La mayoría de especies crece extensamente en el neotrópico y cerca de 9 son endémicas para el país. Las especies con mayor área de distribución en Colombia son *Lycopodiella cernua*, *Lycopodiella alopecuroides*, *Huperzia hartwegiana*, *Huperzia linifolia* y *Huperzia reflexa*, y las más restringidas *Lycopodiella riofrioii*, *Huperzia diana*, *Huperzia schlimii*, *Huperzia lindenii* y *Huperzia spongiosa*.

#### Distribución altitudinal

Las Lycopodiaceae crecen desde el nivel del mar hasta los 4600 m de altura (fig. 3), la mayor concentración de especies está entre los 3000 y 3500 m. *Huperzia* y *Lycopodium* poseen la mayor diversidad entre los 2500 y 4000 m, mientras que *Lycopodiella* es más abundante a

menos de 1000 m y no se encuentra a más de 4000 m. *Lycopodium* no se ha registrado en una altitud menor de 1000 m. Con base en estos resultados se concluye que la familia predomina en las zonas montañosas; 43 especies crecen exclusivamente en los Andes a más de 1000 m de altura y 12 en zonas bajas.

Con base en la distribución altitudinal se aprecian tres patrones fitogeográficos (fig. 3); en el primero están las especies de zonas bajas que crecen a menos de 750 m (*H. funiformis*, *H. dichotoma* y *L. contexta*). El segundo corresponde a las especies con amplio rango de distribución que va desde el nivel del mar hasta los 3500 m y finalmente la mayoría de especies que solo crecen a más de 1000 m en un rango restringido.

#### Tratamiento taxonómico

Las Lycopodiáceas son plantas terrestres o epífitas; erectas o péndulas; con tallos dicotómicamente ramificados, ramificaciones de igual longitud (*Huperzia*) o de diferente tamaño (*Lycopodium*, *Lycopodiella*), las hojas son sésiles, generalmente lanceoladas, subuladas u ovadas, algunas veces de menor longitud que el diámetro del tallo; el margen es entero, dentado, ciliado o esclerificado; generalmente son glabras. Los esporangios son axilares, reniformes, sésiles o subsésiles; las esporas son triletas, rugosas (*Lycopodiella*), foveolado-fosuladas (*Huperzia*) o reticuladas (*Lycopodium*).

#### Clave para los géneros de Lycopodiaceae

1. Plantas con hojas fértiles y estériles iguales ..... *Huperzia*
- 1'. Plantas con hojas fértiles y estériles diferentes ..... 2
2. Plantas epífitas, péndulas ..... *Huperzia*
- 2'. Plantas terrestres, erectas o con tallos horizontales y ramificaciones erectas. .... 3
3. Esporas reticuladas, estróbilos erectos ..... *Lycopodium*
- 3'. Esporas rugosas, estróbilos péndulos (erectos en *L. alopecuroides*, *L. caroliniana*, *L. contexta*) ..... *Lycopodiella*

#### HUPERZIA

Es un género cosmopolita y es el más diverso de la familia, está formado por ca 300 especies de las cuales aproximadamente 50 son neotropicales. *Huperzia* ha

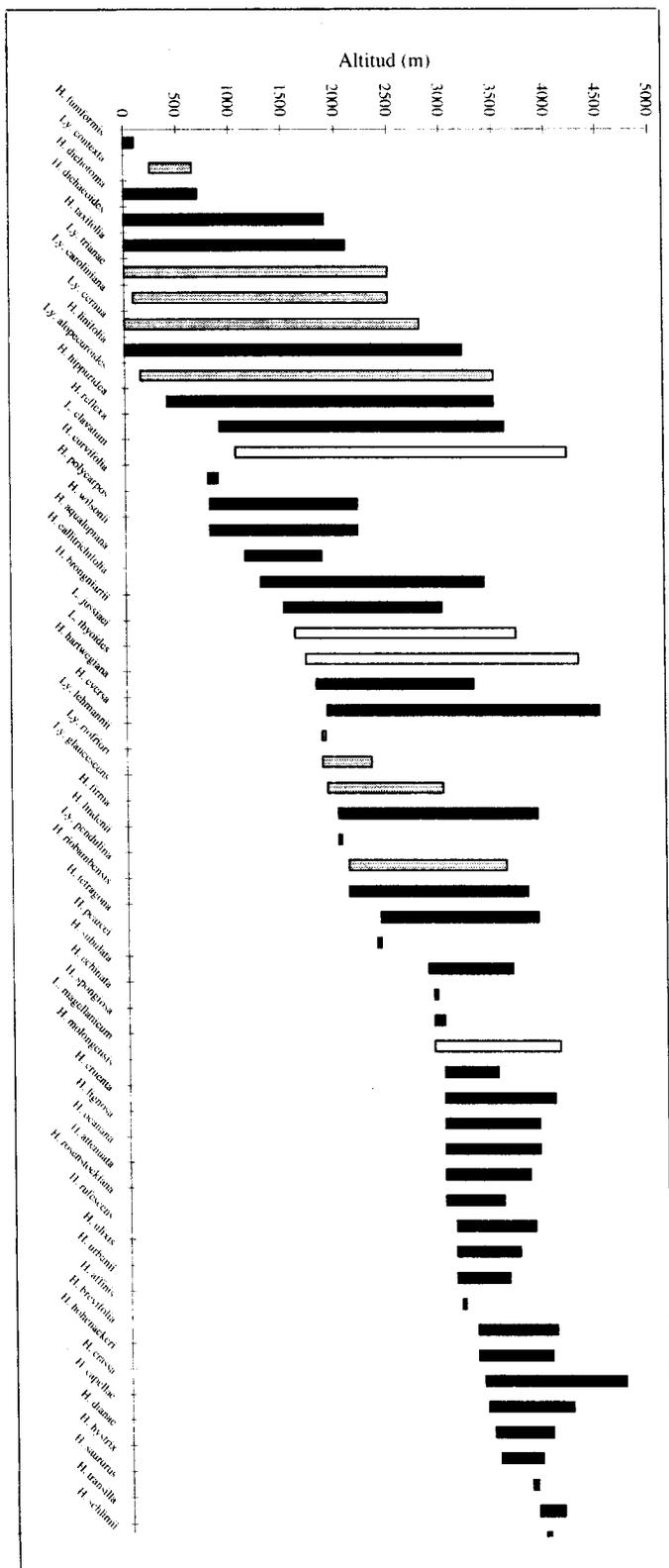


Figura 3. Distribución altitudinal de las especies de Lycopodiaceae

sido estudiado por Øllgaard (1987) quien lo dividió en 22 grupos, que necesitan de una revisión para aclarar que especies pertenecen a cada uno. Las especies son polimórficas y esto dificulta una clara delimitación específica. Los caracteres que han sido utilizados para definir las varían de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar donde crecen.

### A. Plantas dimórficas

1. *Huperzia aqualupiana* (Spring) Rothm., Feddes Rept. 54:62. 1944.

*H. aqualupiana* es una planta epífita que se relaciona con *H. dichaeoides* por las hojas grandes y anchas, pero se diferencia por tener hojas dispuestas en verticilos de tres, mientras que en *H. dichaeoides* son decusadas.

Distribución: Esta especie crece en el Caribe, Venezuela y Colombia. En el país crece en la región andina en las tres cordilleras, en los departamentos de Huila, Meta y el Valle en alturas comprendidas entre 1130 y 1860 m. Se encuentra fértil entre agosto y noviembre.

2. *Huperzia callitrichifolia* (Mett.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:71. 1985.

Es una planta epífita de hojas pequeñas y orbiculares; estrechamente relacionada con *H. cuneifolia* y *H. amentacea*, estas últimas citadas para Colombia por Øllgaard (1995) y de las cuales no hay ejemplares representativos en el COL, han sido diferenciadas por la forma de la base foliar y el tamaño de las hojas. Con base en las descripciones, claves y los caracteres del material disponible no fue posible separar las tres especies; posiblemente se trata de variaciones del mismo taxón.

Distribución: Crece en Colombia y Ecuador. En el país se distribuye en la región andina en las tres cordilleras en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cauca, Risaralda y Tolima, en alturas entre 1280 y 3400 m. Se encuentra fértil entre junio y septiembre.

3. *Huperzia curvifolia* (Kunze) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:70. 1985.

Esta es una especie epífita que tiene las hojas más pequeñas del género.

Distribución: Se distribuye desde Costa Rica hasta Perú, en Colombia solo se ha registrado para la región pacífica en el Parque natural nacional Las Orquídeas a una altura de 785 a 880 m.

4. *Huperzia dichaeoides* (Maxon) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:72. 1985. (fig. 4)

Es una planta epífita relacionada con *H. aqualupiana*. Se encuentra fértil entre abril y julio.

Distribución: Se distribuye desde Guatemala hasta Ecuador. En Colombia crece en la región pacífica en los departamentos de Chocó y Valle y en la isla Gorgona, además en la cordillera Central en el departamento de Antioquia, en alturas comprendidas entre el nivel del mar y 1900 m.

5. *Huperzia echinata* (Spring) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

Es una planta epífita muy parecida a *H. molongensis* de la cual es dudosa su separación.

Distribución: Conocida solo para Colombia. Crece en la región andina en la parte central del departamento de Cundinamarca, en una altura de 2900 m.

6. *Huperzia molongensis* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:75. 1985.

Es una planta epífita de grandes altitudes parecida a *H. echinata*.

Distribución: Se distribuye desde Venezuela hasta Perú. En Colombia se registra para el sur de la región andina en las cordilleras Central y Occidental, en los departamentos de Cauca, Tolima y Valle del Cauca a una altitud comprendida entre 3000 a 3500 m.

7. *Huperzia subulata* (Poir.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:77. 1985.

*Huperzia phyllicifolia* (Desv. ex Poir.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:75. 1985.

*H. subulata* y *H. phyllicifolia* son dos especies muy semejantes, las cuales se han separado básicamente por el tamaño de las hojas; no obstante en los especímenes estudiados no se encontraron caracteres que permitan separar estos taxones. *H. subulata* es una planta péndula, epífita o terrestre. Se encuentra fértil todo el año.

Distribución: Crece desde Costa Rica hasta Bolivia. En Colombia prospera en la región andina y en las cordilleras Central y Occidental desde Antioquia hasta Nariño, en alturas comprendidas entre 2850 y 3650 m.

**B. Plantas monomórficas, hojas con margen dentado, ciliado o fimbriado**

8. *Huperzia affinis* Trevis., Atti. Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874

*H. affinis* es una planta terrestre parecida a *H. reflexa* en la forma y número de hojas por verticilo, pero se diferencia por que el margen de la lámina tiene cilios largos, mientras que en *H. reflexa* el margen es dentado. Se encuentra fértil en mayo.

Distribución: Se distribuye desde Colombia hasta Perú. En el país se registra para la cordillera Oriental en el departamento de Boyacá, en el Páramo de Belén a una altura de 3150 m.

9. *Huperzia attenuata* (Spring) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:249. 1874.

Es una planta terrestre relacionada con *H. tetragona* de la cual se diferencia por los tallos hexagonales a teretes. Se encontró fértil en septiembre.

Distribución: Se distribuye desde Costa Rica hasta Ecuador. En Colombia crece en la región andina en las cordilleras Occidental y Oriental en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Risaralda en alturas comprendidas entre los 3000 y 3800 m.

10. *Huperzia brongniartii* (Spring) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

*H. brongniartii* es una planta terrestre que se caracteriza por tener hojas con ápice denticulado, 2.5 a 3 mm de ancho y la vena prominente por el envés. Se encuentra fértil de mayo a octubre.

Distribución: Crece desde Colombia hasta Bolivia. En el país crece en las tres cordilleras en los departamentos de Antioquia, Cauca y Putumayo, entre los 1500 y los 3000 m de altura.

11. *Huperzia eversa* (Poir.) B. Øllg., in: Harling & Andersson, Fl. Ecuador 33:28. 1988.

*H. eversa* es una planta terrestre que se parece a *H. reflexa* en la forma de las hojas y en el margen de la lámina, pero se diferencia por que las hojas son de menor tamaño; tiene menos hojas por verticilo, y estos son más espaciados y permiten ver el tallo. Esta fértil todo el año.

Distribución: Se distribuye desde Centroamérica hasta Bolivia. En Colombia crece ampliamente en la región andina desde Norte de Santander hasta Nariño y Putumayo y en la Sierra Nevada de Santa Marta, en altitudes comprendidas entre 1900 y 4500 m.

12. *Huperzia firma* (Mett.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:72. 1985.

Es una planta terrestre que se parece a *H. reflexa* en el hábito y la forma y tamaño de las hojas, pero se diferencia porque las células epidérmicas del envés son cúbicas y de pared engrosada, mientras que *H. reflexa* las tiene alargadas y con pared delgada. Se encuentra fértil entre febrero y octubre.

Distribución: Crece en los andes de Venezuela y Colombia. En el país se distribuye ampliamente en el centro y sur de la región andina, en alturas comprendidas entre 2000 y 3900 m.

13. *Huperzia pearcei* (Baker) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:75. 1985.

Es una planta terrestre muy parecida a *H. reflexa*, de la cual es difícil su separación; probablemente se trata de la misma especie.

Distribución: Se registra para Bolivia. En Colombia crece en el departamento de Magdalena en la Sierra Nevada de Santa Marta, en alturas entre 2360 y 2400 m.

14. *Huperzia reflexa* (Lam.) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874. (fig. 5)

Es una especie terrestre caracterizada por sus hojas reflexas, lanceoladas y de margen dentado. Se relaciona con *H. eversa*, *H. firma*, *H. affinis* y *H. rigida* esta última fue incluida por Øllgaard (1992) en *H. reflexa sensu lato*. Se encuentra fértil principalmente entre mayo y diciembre.

Distribución: Es una especie de amplia distribución en el neotrópico. En Colombia crece desde la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía de Perijá hasta el departamento de Putumayo en toda la región andina, en alturas comprendidas entre 900 y 3600 m.

15. *Huperzia riobambensis* (Herter) B. Øllg., Opera Bot. 92:169. 1987.

Es una planta terrestre relacionada con *H. reflexa*, se parecen en el hábito, la forma y tamaño de la hoja, el margen y las células de la epidermis, por tanto no se logró establecer claramente que caracteres las separan. Se encuentra fértil todo el año.

Distribución: Registrada solo para Colombia, crece principalmente desde Cundinamarca hasta Norte de Santander, además en Nariño; en alturas comprendidas entre 2100 y 3800 m.

16. *Huperzia spongiosa* (Rolleri) Rolleri & Deferrari, Notas Mus. La Plata, Bot. 21(100):157. 1988.

*H. spongiosa* es una planta terrestre muy relacionada con *H. reflexa*, de la cual no es clara su separación. Se encuentra fértil entre julio y mayo.

Distribución: Conocida solo para Colombia en el departamento de Cundinamarca, en alturas comprendidas entre 2900 y 3000 m.

17. *Huperzia tetragona* (Hook. & Grev.) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

Es una planta terrestre relacionada con *H. attenuata* de la cual se diferencia por los tallos cuadrangulares. Se encuentra fértil de abril hasta Noviembre.

Distribución: Se distribuye de Colombia a Bolivia. En el país crece en la región andina desde Caldas y Quindío hasta Nariño, en alturas comprendidas entre 2400 y 3900 m.

18. *Huperzia urbanii* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:77. 1985.

*H. urbanii* es una planta terrestre que se parece a *H. firma* en la forma de las células epidérmicas y en las paredes engrosadas de éstas, pero se diferencia por tener un mayor número de hojas por verticilo.

Distribución: *H. urbanii* se conocía solo para Ecuador, este es el primer registro para Colombia. En el país crece al sur de la región andina en el departamento de Nariño a una altitud de 3100 a 3600 m.

### C. Plantas monomórficas, hojas con margen entero o esclerificado por células gruesas

19. *Huperzia brevifolia* (Grev. & Hook.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:71. 1985. (fig. 6)

*H. brevifolia* es una planta terrestre que se caracteriza por tener tallos gruesos de 4 a 7 mm de diámetro y hojas más anchas que largas, caracteres que la separan de *H. rufescens* que tiene hojas más largas que anchas y tallos de 2 a 4 mm de diámetro. Se relaciona con *H. schmidtchenii* (Hieron.) Holub registrada para Colombia y de la cual no hay ejemplares en COL. También se parece a *H. lignosa*. Se encuentra fértil de octubre a mayo.

Distribución: Se distribuye desde Costa Rica hasta Perú. En Colombia crece ampliamente en la cordillera Oriental desde Cundinamarca hasta Nariño y en la cordillera Central en el departamento de Risaralda, en alturas comprendidas entre 3300 y 4050 m.

20. *Huperzia capellae* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:71. 1985.



Figura 4 *Huperzia dichaeoides* (Maxon) Holub

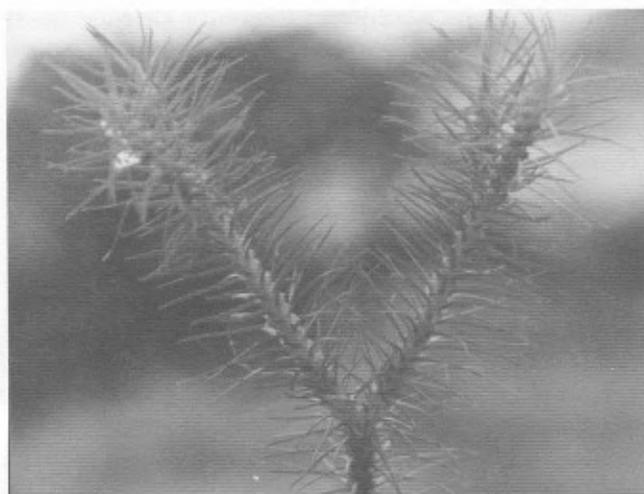


Figura 5 *Huperzia reflexa* (Lam.) Trevis.

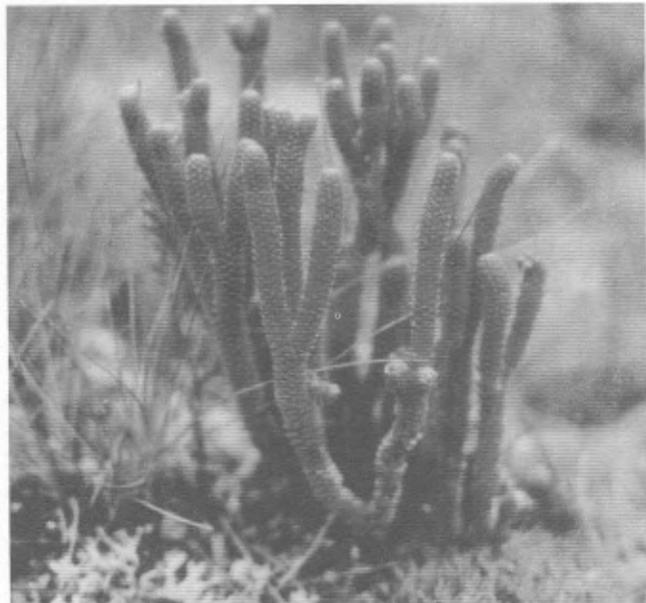


Figura 6 *Huperzia brevifolia* (Grev. & Hook.) Holub



Figura 7 *Huperzia hohenackeri* (Herter) Holub

*H. capellae* es una planta rupícola muy parecida a *H. ocanana* de la cual puede diferenciarse por tener las hojas largas y lanceoladas, mientras que en *H. ocanana* las hojas son cortas y ovadas. Para algunos ejemplares no existe una clara separación con base en estos caracteres, por lo cual es necesario un estudio de estos taxones para aclarar los límites específicos.

Distribución: Esta especie se distribuye en los Andes desde Venezuela hasta Perú. En Colombia crece en las tres

cordilleras, en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cundinamarca y Tolima, en alturas de 3390 a 4200 m.

21. *Huperzia crassa* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Rothm., Feddes Repert. 54:60. 1944.

Es una planta terrestre que se caracteriza fácilmente porque las células del envés de la hoja tienen la pared externa dilatada, dando la apariencia de burbujas. A veces se confunde con *H. saururus*, pero esta tiene el envés liso. Se encuentra fértil casi todo el año.

Distribución: Se distribuye desde América Central y el Caribe hasta Perú. En Colombia crece en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la región andina, principalmente, en las cordilleras Central y Oriental; desde Santander y Caldas hasta Nariño, en alturas comprendidas entre 3360 y 4700 m.

22. *Huperzia cruenta* (Spring) Rothm., Feddes Repert. 54:59. 1944.

Es una especie terrestre de tallos erectos y hojas lanceoladas, las juveniles son más largas que las adultas. Se parece a *H. capellae* y a *H. catacachiensis*, esta última difiere de *H. cruenta* por los tallos levemente heteroblásticos (Øllgaard, 1992). Se encuentra fértil entre septiembre y abril.

Distribución: Conocida solo de Colombia. Crece en las tres cordilleras; en la Oriental en los departamentos de Arauca, Boyacá y Cundinamarca, en la Central en Caldas y Cauca y en la Occidental en Antioquia, en alturas comprendidas entre 3000 y 4050 m.

23. *Huperzia diana* (Herter) B. Øllg. Opera Bot. 92:169. 1987.

*H. diana* es una planta terrestre de hojas variables, las cuales pueden ser cortas o largas y triangulares, elípticas u ovado-lanceoladas. Se ha encontrado fértil en marzo y septiembre.

Distribución: Conocida solo para el departamento de Antioquia, en el Páramo de Frontino, a una altura de 3450 a 4000 m.

24. *Huperzia dichotoma* (Jacq.) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

*H. dichotoma* es una planta epífita relacionada a *H. linifolia*, de la cual se distingue porque la base de la lámina no se angosta dando la apariencia de un peciolo.

Distribución: Es una especie ampliamente distribuida desde el sur de los Estados Unidos y el Caribe hasta

Ecuador y Brasil. En Colombia se registra para los departamentos de Antioquia y Chocó, en alturas menores de 700 m.

25. *Huperzia funiformis* (Spring) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

*H. funiformis* es una especie epífita, de hojas muy delgadas y adpresas. Se ha encontrado fértil en marzo, junio y diciembre.

Distribución: Se distribuye desde Méjico y el Caribe hasta Perú. En Colombia crece en los departamentos de Cauca y Valle del Cauca, en alturas menores de 100 m.

26. *Huperzia hartwegiana* (Spring) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

*H. hartwegiana* es una planta generalmente epífita parecida a *H. taxifolia*, de la cual se ha diferenciado por tener el tallo de mayor diámetro y las hojas más anchas, no obstante el ejemplar de *Grant 10749* (COL) de hojas con un ancho que pertenece a *H. hartwegiana* tiene un diámetro de tallo que correspondería a *H. taxifolia*.

Las dos especies se han delimitado también por su distribución altitudinal; *H. hartwegiana* de alturas superiores a los 2400 m y *H. taxifolia* de medianas altitudes comprendidas entre 1000 a 2300 m; sin embargo el espécimen de *Veléz 4199* (COL) de 3180 - 3470 m posee las características de *H. taxifolia*. Con base en estos caracteres no es posible una clara delimitación de los dos taxones, por lo que es probable que correspondan a una misma especie. Se encuentra fértil casi todo el año.

Distribución: Crece en América Central y a través de los Andes desde Venezuela hasta Perú. En Colombia se distribuye en las cordilleras Central y Oriental desde Boyacá y Risaralda hasta Cauca, en alturas comprendidas entre 1800 y 3300 m.

27. *Huperzia hippuridea* (H. Christ.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:73. 1985.

*Huperzia lechleri* (Hieron.) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:74. 1985.

*H. hippuridea* es una planta generalmente terrestre, la cual se ha diferenciado de *H. lechleri* por el ancho de la hoja, no obstante los especímenes examinados no permiten una separación de los dos taxones basados en este carácter ni en ningún otro. Lellinger (1989) ya había propuesto la sinonimia, sin embargo Øllgaard (1992) a pesar de considerarla dudosa la mantiene separada; por lo tanto con base en el estudio de los ejemplares

disponibles se ratifica la propuesta de **Lellinger**. Se encuentra fértil entre agosto y noviembre.

Distribución: *H. hippuridea* crece desde América Central y las Antillas mayores hasta Bolivia. En Colombia se distribuye ampliamente en la cordillera Oriental desde Norte de Santander hasta Meta y en la serranía de Perijá en la Guajira, en altitudes entre los 400 y 3500 m.

28. *Huperzia hohenackeri* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:73. 1985. (fig. 7)

Es una planta terrestre de tallos muy gruesos y hojas pequeñas, se encuentra fértil de junio a agosto.

Distribución: Se distribuye desde Colombia hasta Perú. En el país crece en el centro de la región andina en los departamentos de Cundinamarca, Risaralda, Caldas, Meta, Tolima y Valle del Cauca en alturas comprendidas entre 3300 y 4000 m.

29. *Huperzia hystrix* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:73. 1985.

Es una planta terrestre relacionada con *H. ulixis*, se encuentra fértil en octubre.

Distribución: Es una planta andina que se distribuye desde Colombia hasta Ecuador. En el país crece en los departamentos de Cauca, Chocó, Huila y Nariño en alturas comprendidas entre 3500 y 3900 m.

30. *Huperzia lignosa* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:74. 1985.

Es una planta terrestre de tallos gruesos y hojas coriáceas, estas son más pequeñas que en *H. brevifolia*.

Distribución: Registrada solo para Colombia, al norte de la cordillera Oriental en Boyacá y los Santanderes, en alturas entre 3000 y 3900 m.

31. *Huperzia lindenii* (Spring) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:247. 1874.

Es una planta epífita y péndula, relacionada con *H. taxifolia*, de la que se separa porque las hojas de las divisiones basales tienen menos de 11 mm de long., mientras que en *H. taxifolia* son más largas que 14 mm.

Distribución: *H. lindenii* es una especie andina de Colombia y Ecuador, en el país crece en Cundinamarca y Nariño en alturas cercanas a los 2000 - 2180 m.

32. *Huperzia linifolia* (L.) Trevis., Atti. Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874. (Fig. 8)

*Huperzia capillaris* (Sodirol) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:71. 1985.

*H. linifolia* es una planta epífita, péndula, de hojas lanceoladas y con la base de la lámina torcida semejando un peciolo. Con los ejemplares disponibles, las descripciones y las claves no fue posible separarla de *H. capillaris*, pues los caracteres se entremezclan. También se relaciona con *H. dichotoma*. Se encuentra fértil todo el año.

Distribución: Se distribuye desde América Central y el Caribe hasta Perú y Brasil. En Colombia crece ampliamente desde La Guajira hasta Nariño y desde Chocó hasta Cundinamarca, además aparece en el departamento del Amazonas, en alturas comprendidas entre el nivel del mar y los 3200 m.

33. *Huperzia ocanana* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:75. 1985.

Es una planta terrestre poco conocida que se relacionan con *H. capellae*. Se encuentra fértil principalmente entre mayo y julio.

Distribución: Crece en los Andes de Venezuela y Colombia. En el país se distribuye principalmente desde El Cesar y Magdalena hasta Cundinamarca, además se registra para Antioquia y Valle, en alturas comprendidas entre 3000 y 4100 m.

34. *Huperzia polycarpus* (Kunze) B. Øllg., Opera Bot. 92:169. 1987.

*H. polycarpus* es una planta epífita muy relacionada con *H. wilsonii*, de la cual se diferencia por la mayor longitud de las hojas y por tener la base de la lámina torcida; sin embargo en los especímenes estudiados de *H. polycarpus* no se aprecia claramente este último carácter. falta confirmar si el tamaño foliar es variable. Se encuentra fértil entre septiembre y mayo.

Distribución: Es una especie que crece desde Costa Rica hasta Perú. En el país se ha registrado en los departamentos de Antioquia, Quindío, Risaralda y Santander, entre 800 y 2200 m de altura.

35. *Huperzia rosenstockiana* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:76. 1985.

Es una planta epífita de hojas anchas. Se ha encontrado fértil en mayo.

Distribución: Se distribuye en el sur de Colombia y Ecuador. En el país crece en los departamentos de Nariño y Cauca, en alturas comprendidas entre 3000 y 3550 m.

36. *Huperzia rufescens* (Hook.) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:249. 1874.

*H. rufescens* es una planta terrestre parecida a *H. brevifolia*. Se relaciona con *H. eremorum* (Rolleri) Holub y *H. sellifolia* B. Øllg., taxones que se han registrado para el sur de Colombia y de los cuales se separa por pequeñas diferencias en el tamaño de las hojas y los tallos; estos caracteres no han permitido una clara delimitación específica, por lo cual aquí se toman en sentido amplio bajo *H. rufescens*. Se encuentra fértil principalmente entre febrero y junio.

Distribución: Se distribuye en Colombia y Ecuador. En el país crece en la región andina en los departamentos de Boyacá, Cauca, Chocó y Nariño, en alturas comprendidas entre 3100 y 3850 m.

37. *Huperzia saururus* (Lam.) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

Es una especie terrestre de tallos gruesos y hojas ovadas.

Distribución: Es una especie que crece en América, África, Madagascar y las islas Mascareñas. En América se extiende desde Colombia hasta Argentina. En el país crece en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la cordillera Occidental en el departamento de Chocó en una altura comprendida entre 3800 y 3850 m.

38. *Huperzia schlimii* (Herter) B. Øllg., Opera Bot. 92:169. 1987.

Es una planta terrestre parecida a *H. cruenta* en el habito y forma de las hojas, por lo que es difícil su separación. Se ha encontrado fértil en junio.

Distribución: Conocida solo para Colombia; en la Sierra Nevada de Santa Marta y en los departamentos de Caldas y Risaralda, en alturas entre 3930 y 3970 m.

39. *Huperzia taxifolia* (Sw.) Trevis., Atti Soc. Ital. Sci. Nat. 17:248. 1874.

*Huperzia homocarpa* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:73. 1985.

*H. taxifolia* y *H. homocarpa* principalmente se han separado por el tamaño de las hojas, sin embargo en los ejemplares estudiados, éste y los demás caracteres se entremezclan y no es posible diferenciarlas claramente; por lo tanto se propone incluirlas bajo un solo epíteto específico. *H. taxifolia* es una planta epífita y terrestre relacionada con *H. killipii*, estas dos especies también

se han separado por el tamaño de las hojas (Øllgaard 1995), sin embargo este carácter no fue útil en el reconocimiento de tales especies, por lo que es probable que sean el mismo taxón. Se encuentra fértil de septiembre a mayo.

Distribución: *H. taxifolia* esta ampliamente distribuida desde América Central y el Caribe hasta Perú y Brasil. En el país crece al norte en la Sierra Nevada de Santa Marta y la serranía de Perijá y al sur en los departamentos de Cauca y Nariño y en la Isla Gorgona, en alturas comprendidas desde el nivel del mar hasta los 2100 m.

40. *Huperzia transilla* (Baker) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:77. 1985.

*H. transilla* es una planta terrestre de tallos gruesos de ca 1 cm de diámetro y corresponde a una de las especies más grandes del género. Se ha encontrado fértil en febrero.

Distribución: Se distribuye en Colombia y Ecuador. En el país crece en la cordillera Occidental en el departamento de Chocó entre 3860 y 4100 m de altura.

41. *Huperzia ulixis* (Herter) Holub, Folia Geobot. Phytotax. 20:77. 1985.

Es una especie terrestre relacionada con *H. hystrix*. Se ha encontrado fértil en marzo y diciembre.

Distribución: Conocida solo para Colombia. Crece al sur de la región andina en los departamentos de Cauca y Nariño, en una altura comprendida entre 3100 y 3700 m.

42. *Huperzia wilsonii* (Underw. & F.E. Lloyd) B. Øllg., Opera Bot. 92:170. 1987.

Es una planta epífita relacionada con *H. polycarpus*, de la cual es difícil su separación. También se parece a *H. pithyoides*, citada para Colombia por Øllgaard (1995) en el aspecto general de la planta y en la longitud de las hojas. Esta fértil de mayo a septiembre.

Distribución: Es una especie ampliamente distribuida desde América Central y el Caribe hasta Perú y el sur de Brasil. En Colombia crece en Risaralda, Santander y Valle del Cauca, en alturas comprendidas entre 800 y 2200 m.

## LYCOPODIELLA

Comprende 40 especies que crecen principalmente en lugares húmedos de las zonas templadas y tropicales de ambos hemisferios, aproximadamente 25 especies crecen en el Neotrópico (Øllgaard 1992).

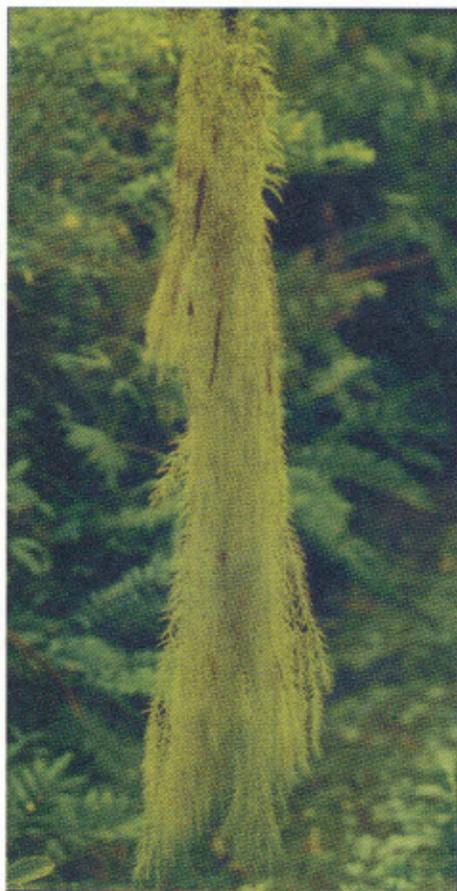


Figura 8 *Huperzia linifolia* (L.) Trevis.

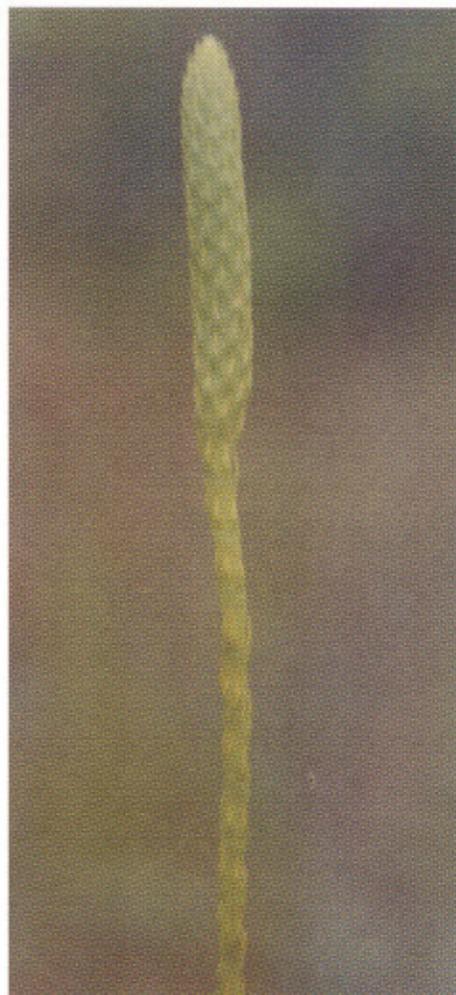


Figura 10 *Lycopodiella caroliniana* (L.) Pichi-Serm.



Figura 9 *Lycopodiella alopecuroides* (L.) Cranfill

#### A. Estrobilos erectos

43. *Lycopodiella alopecuroides* (L.) Cranfill, Amer. Fern J. 71:97. 1981. (fig. 9)

Es una especie terrestre con tallos isófilos y ramas erectas cubiertas completamente por las hojas. Se encuentra fértil todo el año.

Distribución: Crece desde Norte América hasta Bolivia. En Colombia se distribuye ampliamente por las tres cordilleras desde Antioquia y Norte de Santander hasta Nariño, además, en los departamentos de Amazonas, Caquetá, Casanare y Meta, en alturas comprendidas entre 150 y 3500 m.

44. *Lycopodiella caroliniana* (L.) Pichi-Serm., Webbia 23:165. 1968. (fig. 10)

Es una planta terrestre, con tallos rastreros dorsiventrales, anisofilos; en los tallos erectos las hojas son dispersas. Esta fértil la mayor parte del año.

Distribución: *L. caroliniana* se distribuye ampliamente en las regiones tropicales de América, Asia y África y en las templadas de América. En Colombia se encuentra en la región amazónica, también crece en la región pacífica en Chocó y Nariño y en la región andina en Antioquia y Santander, en alturas comprendidas entre 80 y 2500 m.

45. *Lycopodiella contexta* (C. Mart.) Holub. Folia Geobot. Phytotax. 20:441. 1985. (fig. 11)

Es una planta terrestre con tallos rastreros isófilos. Esta fértil principalmente de junio a diciembre.

Distribución: Es una especie principalmente de la cuenca amazónica de Venezuela, Brasil, Perú y Colombia. En el país crece en los departamentos de Amazonas, Caquetá y Vaupés en alturas comprendidas entre 250 y 650 m.

### B. Estrobilos péndulos

46. *Lycopodiella cernua* (L.) Pichi-Serm., Webbia 23:166. 1968. (fig. 12)

Es una especie terrestre, dendroide, de tallos delgados, con trofófilos enteros y generalmente glabros y esporófilos dentados. Se relaciona con *L. camporum* y *L. steyermarkii*, las cuales son difíciles de separar claramente. Esta fértil todo el año.

Distribución: Es una especie pantropical pionera de lugares disturbados y húmedos. En Colombia esta ampliamente distribuida en todo el país, incluyendo las islas de San Andrés y Gorgona, desde el nivel del mar hasta los 2800 m de altura.

47. *Lycopodiella glaucescens* (C. Presl) B. Øllg., Opera Bot. 92:176. 1987.

Es una planta terrestre. Se ha encontrado fértil de marzo a octubre.

Distribución: Desde Costa Rica y a través de los Andes hasta Bolivia. En el país crece en las tres cordilleras en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cauca y Putumayo, en alturas comprendidas entre 1900 - 3000 m.

48. *Lycopodiella lehmannii* (Hieron.) B. Øllg., Opera Bot. 92:176. 1987.

Distribución: Registrada solo para Colombia, en el departamento del Cauca, en una altura de 1850 m.

49. *Lycopodiella pendulina* (Hook.) B. Øllg., Opera Bot. 92:176. 1987.

Es una planta terrestre de tallos y estrobilos gruesos, se encuentra fértil la mayor parte del año.

Distribución: Se distribuye desde Costa Rica y a través de los Andes hasta Bolivia y el sur de Brasil. En Colombia crece en la región andina en los departamentos de Boyacá, Cauca, Cundinamarca y Nariño, en alturas comprendidas entre 2100 y 3600 m.

50. *Lycopodiella riofriori* (Sodirol) B. Øllg., Opera Bot. 92:176. 1987.

Es una planta terrestre que se ha encontrado fértil de febrero a agosto.

Distribución: Se distribuye desde Costa Rica hasta el norte de Perú y Brasil. En Colombia crece en las cordilleras Oriental y Occidental en los departamentos de Cauca, Huila, Meta y Valle, a una altura comprendida entre 1850 y 2320 m.

51. *Lycopodiella trianae* (Sodirol) B. Øllg., Opera Bot. 92:176. 1987.

Es una planta terrestre que esta fértil la mayor parte del año.

Distribución: Crece principalmente al occidente de los Andes desde Chocó hasta el norte de Ecuador. En Colombia también se encuentra en el departamento de Santander, en alturas inferiores de 2500 m.

## LYCOPODIUM

Es un género cosmopolita de aproximadamente 40 especies, 8 de las cuales son neotropicales (Øllgaard 1992). Crece principalmente en los bosques montanos y en los páramos. Para Colombia se registran cuatro especies

### A. Tallos teretes

52. *Lycopodium clavatum* L., Sp. pl. 1101. 1753. (fig. 13).

*L. clavatum* es una planta terrestre que se caracteriza por tener hojas con ápices largamente filiformes, para la especie se registran dos subespecies. Se encuentra fértil todo el año.

52a. *Lycopodium clavatum* subsp. *clavatum*

52b. *Lycopodium clavatum* subsp. *contiguum* (Klotzsch). B. Øllg. in Harling & Andersson: Fl. Ecuador 33:126. 1988.



Figura 11 *Lycopodiella contexta* (C. Mart.) Holub



Figura 12 *Lycopodiella cernua* (L.) Pichi-Serm.



Figura 13 *Lycopodium clavatum* L. subsp. *contiguum* (Klotzsch) B. Öllg.



Figura 14 *Lycopodium thyoides* Humb. & Bonpl. ex Willd.

**Distribución:** Es una especie cosmopolita. En Colombia esta ampliamente distribuida en las tres cordilleras y en la región atlántica en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la serranía de Macuira, a una altura comprendida entre 1050 y 4200 m.

53. *Lycopodium magellanicum* (P. Beauv.) Sw., Syn. fil. 180. 1806.

Es una planta terrestre que se encuentra fértil todo el año.

**Distribución:** Se distribuye a gran altitud desde Costa Rica y el Caribe hasta la Tierra del Fuego. En Colombia crece principalmente en el centro de la región andina en las cordilleras Oriental y Occidental y en la Sierra Nevada de Santa Marta, en una altura comprendida entre 2900 y 4100 m.

### B. Tallos aplanados

54. *Lycopodium jussiaei* Desv. ex Poir., Encycl. suppl. 3:543. 1813 [1814].

*L. jussiaei* es una planta terrestre que se encuentra fértil todo el año.

**Distribución:** Crece desde Costa Rica y el Caribe hasta Bolivia y Brasil. En el país se distribuye ampliamente en las tres cordilleras, en altitudes comprendidas entre 1000 y 3700 m.

55. *Lycopodium thyoides* Humb. & Bonpl. ex Willd., Sp. pl. 5:18. 1810. (fig. 14)

Es una planta terrestre que esta fértil todo el año.

**Distribución:** Se distribuye desde Méjico hasta el norte de Argentina. En Colombia crece ampliamente en las tres

cordilleras, en la Sierra Nevada de Santa Marta y en la serranía de Perijá, en alturas comprendidas entre 1700 y 4300 m.

### Agradecimientos

Agradecemos a los herbarios BOG y COL el permitir el estudio de los especímenes.

### Bibliografía

- Herter, G. 1949. Index Lycopodiurum. Est. Bot. Reg. Uruguay 20:I-IV, 1-120.
- . 1949/1950. Systema Lycopodiorum. Rev. Sudamer. Bot. 8: 67-86, 93-116.
- Murillo, M.T. & Harker, M. 1990. Helechos y plantas afines de Colombia. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, colección Jorge Alvarez Lleras No. 12. Bogotá.
- Øllgaard, B. 1988. Lycopodiaceae. In Harling, G. & L. Andersson (eds.) Flora of Ecuador. 33:1-155
- . 1992. Neotropical Lycopodiaceae-an overview. Ann. Missouri Bot. Gard. 79:687-717.
- . 1994. Lycopodiaceae. Flora of Perú. Field. Bot. New ser. 34:16-66
- . 1995. Diversity of *Huperzia* (Lycopodiaceae) in neotropical montane forests. In Biodiversity and Conservation of neotropical montane forests. New York. .
- Santa, J. 1989. Estudio sobre la distribución de algunas licopodíneas de Colombia. Actualidades Biológicas. 18: 95-103.
- Tryon, R. & A. Tryon. 1982. Ferns and allied plants with special reference to tropical America. New York. Springer-Verlag.
- Wilce, J. 1972. Lycopod spores I. General spore patterns and the generic segregates of *Lycopodium*. Amer Fern J. 62:65-79.

**Lista de especies**

Los números al frente de cada taxón son los asignados en el texto. Los nombres de los taxones en letra redonda son sinónimos

***Huperzia***

- affinis* Trevis. 8  
*aqualupiana* (Spring) Rothm. 1  
*attenuata* (Spring) Trevis. 9  
*brevifolia* (Grev. & Hook.) Holub 19  
*brongniartii* (Spring) Trevis. 10  
*callitrichifolia* (Mett.) Holub 2  
*capellae* (Herter) Holub 20  
*capillaris* (Sodirol) Holub 31  
*crassa* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Rothm. 21  
*cruenta* (Spring) Rothm. 22  
*curvifolia* (Kunze) Holub 3  
*dianae* (Herter) B. Øllg. 23  
*dichaeoides* (Maxon) Holub 4  
*dichotoma* (Jacq.) Trevis. 24  
*echinata* (Spring) Trevis. 5  
*eversa* (Poir.) B. Øllg. 11  
*firma* (Mett.) Holub 12  
*funiformis* (Spring) Trevis. 25  
*hartwegiana* (Spring) Trevis. 26  
*hippuridea* (H. Christ.) Holub 27  
*hohenackeri* (Herter) Holub 28  
*homocarpa* (Herter) Holub 39  
*hystrix* (Herter) Holub 29  
*lechleri* (Hieron.) Holub 26  
*lignosa* (Herter) Holub 30  
*lindenii* (Spring) Trevis. 31  
*linifolia* (L.) Trevis. 32  
*molongensis* (Herter) Holub 6  
*ocanana* (Herter) Holub 33  
*pearcei* (Baker) Holub 13  
*phylicifolia* (Desv. Ex Poir.) Holub 7  
*polycarpus* (Kunze) B. Øllg. 34  
*reflexa* (Lam.) Trevis. 14  
*riobambensis* (Herter) B. Øllg. 15  
*rosenstockiana* (Herter) Holub 35  
*rufescens* (Hook.) Trevis. 36  
*saururus* (Lam.) Trevis. 37  
*schlimii* (Herter) B. Øllg. 38  
*spongiosa* (Rolleri) Rolleri & Deferrari 16  
*subulata* (Poir.) Holub 7  
*taxifolia* (Sw.) Trevis. 39  
*tetragona* (Hook. & Grev.) Trevis. 17  
*transilla* (Baker) Holub 40  
*ulixis* (Herter) Holub 41

- urbanii* (Herter) Holub 18  
*wilsonii* (L. Underw. & F.E. Lloyd) B. Øllg. 42

***Lycopodiella***

- alopecuroides* (L.) Cranfill 43  
*caroliniana* (L.) Pichi-Serm. 44  
*cernua* (L.) Pichi-Serm. 46  
*contexta* (C. Mart.) Holub 45  
*glaucescens* (C. Presl) B. Øllg. 47  
*lehmannii* (Hieron.) B. Øllg. 48  
*pendulina* (Hook.) B. Øllg. 49  
*riofriori* (Sodirol) B. Øllg. 50  
 *trianae* (Sodirol) B. Øllg. 51

***Lycopodium***

- clavatum* L. 52  
    subsp. *clavatum* 52a  
    subsp. *contiguum* (Klotzsch.) B. Øllg. 52b.  
*jussiaei* Desv. ex Poir. 54  
*magellanicum* (P. Beauv.) Sw. 53  
*thyoides* Humb. & Bonpl. ex Willd. 55

**Lista de exsiccados**

- Acosta-Arteaga, C. 176 (46); 236, 245, 360 (52); 369 (22); 381 (52); 440 (55); 441 (54); 460 (14); 498 (52); 508 (7); 509 (52); 564 (52); 565 (55); 635 (46); 640 (52); 671 (46); 686 (52); 687 (55); 713 (52); 714 (55); 744 (46); 752 (47); 761 (54); 762 (52); 763 (46); 791 (52); 806 (14); 827 (15); 858 (43); 937 (46); 952 (52); 998 (46); 1070 (55); 1077 (52); 1093 (52); 1181 (15); 1182 (52); 1210 (46); 1212 (52).
- Agudelo, C. 752 (34); 636 (55); 1719 (26); 1578 (52).
- Aguirre, L. E. 864, 869 (46); 991 (43).
- Alvarez, R. 2, 7 (52); 8 (54); 10 (55).
- Alverson, W. 36 (24); 206 (46).
- Allen, P.H. 3191 (44).
- Araque, J. 19ch153, 19ch194 (51).
- Arbeláez, G. 392 (54); 2226 (46);
- Archer, W. 203 (55); 572, 1433 (46).
- Ballesteros, M. 65 (55); 72 (27).
- Balls, E. 5687 (55).
- Barbosa, C. 8201 (46); 8602 (47); 8636, 8697 (10).

Barkley, F.A. 8 (43); 1493, 1510 (46); 17CO18 (52); 17C781, 18A014, 18A015 (55); 18A016 (52); 18Ca121 (35); 18S025, 19An227 (52); 19An233 (54); 19CH104 (14); 19CH144, 19CH153 (51); 38C261, 38C528 (52); 38C565 (46).

Barclay, A.S. 48 (52); 180 (11); 244 (52); 241, 243 (11); 537 (44); 750 (52); 3316 (54); 3321, 3391 (52); 3537 (46); 4318 (55); 5962 (6); 5967 (7); 6841; 7567 (8).

Barclay, H. 4012 (55); 4038, 4167 (52); 4217 (55); 4388 (43); 4392 (52); 4405 (55); 4423 (54); 4547 (52); 4797 (54); 5268 (53); 5337 (52); 5339 (55); 5786 (43); 5800, 5880 (52); 5890 (55); 5980 (38); 6453 (53); 6495 (52); 6841 (32); 7333, 7366 (21); 7469 (53); 7479 (55); 7504, 7586 (52); 7655 (55); 7662 (54); 10432, 10465 (52).

Barrera, J.I. 4 (51).

Barrington, D.S. 479 (20).

Bejarano, M. 71 (52); 201, 293 (55); 292, 323 (52); 328 (43).

Bernal, A. 1 (46).

Bernal, H.Y. 189 (52); 217 (22); 238 (19).

Betancur, J. 169 (52); 202 (14); 1609, 1910 (46); 2074 (19); 2758 (34); 3457 (46); 4867 (39).

Bischler, H. 1108 (55); 1109 (52); 1165 (54); 1166 (52); 1167 (43); 1269 (55); 1421 (51); 1512, 1687 (52); 1805 (54); 1897, 1920 (55); 2130 (52); 2425, 2557 (46); 2695 (55); 2762 (52); 2814 (21); 2956 (22); 2957 (52).

Brant, A. 1611 (34).

Bristol, M.L. 407 (54); 408 (14); 411 (11).

Cabrera, I. 1532, 1861, 3296 (46).

Calderón, 41 (6).

Callejas, R. 786 (54); 811 (55); 3362 (52); 3363 (11); 3367 (55); 3847 (43).

Camargo, L. 7639, 7868 (11); 8090 (55); 8091 (54).

Cleef, A. M. 462 (15); 905 (53); 1046 (22); 1292 (22); 1530 (28); 1539 (27); 1626 (19); 1755, 1868 (53); 1936 (19); 1939 (22); 2827 (33); 3187 (20); 3200 (22); 3522 (14); 3648, 3815 (33); 3987 (22); 3988 (33); 4375, 4646A (22); 4913 (33); 4917 (20); 4919 (53); 5005 (47); 5002, 5033 (12); 5622, 5681, 5839, 5844 (21); 5971 (12); 5889 (21); 6021 (11); 6111, 6832 (22); 7065 (36); 7436 (33); 7507 (22); 7735 (19); 7854 (27); 8066, 8153 (21); 8413

(20); 8413A (33); 8527, 8528 (21); 8435 (22); 8735, 9076, 9104 (21); 9234 (54); 9235 (14); 9251 (15); 9260 (22); 9538 (43); 9588, 9716 (19); 9728 (22); 9743 (33); 9758 (30); 9811 (33); 9860, 9930, 9971, 10009 (22); 10031 (33); 10049 (22); 10146 (27).

Chacón, M.L. 26 (52); 27 (54).

Chaparro, A. 339 (32).

Chaparro, B. 1 (54).

Chavarro, G. 113 (55).

Churchill, S. 17687 (46).

Clements, R. 74 (55).

Cogollo, A. 3182 (2); 3233 (3); 3716 (46).

Core, E.L. 1133 (14).

Correa, J. 143 (52).

Cortés, S. 20 (46); sn (14); sn (55).

Cristancho, C. 93 (7); 112 (52); 113 (36).

Croat, Th. 51777 (52); 51790, 51874 (54); 56419 (52).

Cruz, A. 239 (55); 271 (52); 273 (27); 295 (55); 609 (46).

Cuatrecasas, J. 392 (54); 1583 (53); 1649 (55); 1690 (52); 1846, 5088 (55); 5160 (52); 5395, 5417 (54); 5521 (52); 5536 (33); 5536A, 5632 (52); 5668 (55); 5668A (52); 5718 (27); 6671, 8413 (52); 9144 (46); 9145 (14); 9429, 10092 (52); 10333 (55); 11769 (52); 12284 (54); 12288 (55); 12312 (43); 12637 (52); 13306 (46); 15143A (42); 16553 (25); 19085 (41); 19719 (51); 24136 (32); 24650 (26); 24652 (53); 24656 (52); 25247 (27); 25940 (55); 26419, 26996 (52); 27035 (9); 27477 (51); 27585 (54); 27592 (52).

Davis, E.W. 112 (46).

Denslow, J. 404 (46).

Devia, W. 2015 (52); 3988 (4).

Díaz, J. 48 (55).

Díaz, S. 327 (54); 808 (33); 1153 (14); 1311 (46); 1335, 1829 (52); 1893 (21); 1929 (53); 2368 (52); 2603 (19); 2743 (27); 2781 (54); 2848 (53); 2850 (20); 3014 (52); 3016 (55); 3070 (54); 3520 (51); 3775 (54); 3775A (14); 3923 (32).

Downey, C. 85 (28).

- Dryander, F. 1588 (55).
- Dugand, A. 3979 (46).
- Duncan, Th. 1875 (22); 1890, 1891 (52).
- Duque-Jaramillo, J. 2816, 2880 (55); 2882A (52); sn (54).
- Echeverry, D.L. 5 (7).
- Echeverry, R. 1991 (54).
- Espinal, S. 1049 (52); 1108 (11); 1113 (55); 1159 (52); 1484 (54); 1732 (36); 2015 (14); 2416 (52); 2424 (33); 2716, 2833 (14); 2834 (46); 3022 (52); 3102 (55); 3223 (54); 3300 (17); 6232, 8654 (14).
- Estrada, J. 26 (55); 79, 183 (46); 630 (45).
- Ewan, J. 16084 (15); 16284 (43); 16295 (27); 16586 (52); 16626 (18).
- Exp. Bot. Mutis 3356 (55); 3349(46).
- Fassett, N.C. 25053 (46); 25626 (43); 25725 (46).
- Fernández, A. 1041 (52); 1042, 5864 (54).
- Fernández, J. L. 26 (55); 27 (52); 48 (32); 361, 363 (46); 1042 (55); 5138 (52); 5139 (54); 5140, 5864 (55); 6038 (46); 6234 (52); 6589 (12); 7518 (39); 8631 (55); 8632 (52); 8653 (54); 8655, 8712 (52); 8713 (53); 8714 (22); 8953 (42); 9788 (32); 10067 (52); 11777 (19); 11876 (54); 11895 (27); 11985 (14); 12050 (43); 12063 (52); 12285 (14); 12620 (26).
- Forero, E. 512 (53); 521 (17); 522 (52); 531 (54); 554, 556, 642 (52); 1072, 2095 (51); 2906 (52); 3475 (46); 3547 (52); 3792 (24); 5340, 5826 (51); 7612 (46); 8903 (32); 9599 (51); 9673 (46).
- Fosberg, F.R. 20394 (19); 20895 (50).
- Foster, M.B. 1390 (13); 1391 (52); 1419 (55); 1537 (52); 1635 (46); 1853, 1854 (54); 2030, 2121 (52); 2120 (51).
- Foster, R. 1975 (11).
- Franco, P. 183 (53); 640 (19); 651 (55); 821 (27); 868, 935 (52); 968 (43); 1500 (46); 2068 (54); 2681, 2681A (52); 3630 (45); 4899 (42).
- Fuchs, H.P. 22297, 22310 (46); 22392 (32).
- Fuertes, J. 224 (46).
- Funk, V. 8010, 8024 (21); 8065 (52).
- Galeano, G. 62 (52).
- Galeano, P. 2008 (46).
- García-Barriga, H. 4356, 4663 (54); 6239 (55); 8230 (46); 11098 (52); 11913 (55); 12622 (52); 13151 (51); 13607 (55); 15309 (54); 15723 (52); 17693 (22); 18323 (46); 18383 (32); 19424 (55); 19735 (52); 19903, 20284 (55); 20655 (30); 20656, 20723 (52); 20783 (27); 20979 (52).
- Garganta de, M. 978, 1167 (55).
- Gentry, A. 16850 (4); 17887 (44); 24156 (46); 48098 (52).
- Gillett, J.M. 16558 (54); 16559 (55); 16560 (52).
- Giraldo, D. 453 (32).
- González, F. 2239 (45); 2762 (2); 2784, 2789 (52); 2795 (54); 2864 (14); 2993 (50).
- Grant, M.L. 9116 (52); 9121 (54); 9250 (55); 9409 (27); 9418 (54); 9482 (43); 9560 (52); 10251 (49); 10598 (43); 10616 (11); 10749 (39); 10795 (54); 10839 (27), 10841 (55); 10847 (52).
- Grubb, P.J. P17 (52); P18 (53); P21, P44 (52); P48 (55); P51 (27); P52 (52); P53 (54); P69 (55); P77 (14); P111 (2); P122 (52).
- Guarín, R. 1069 (46).
- Gutierrez, G. 18 (46); 19, 38, 155 (52); 1029 (46); 1096 (43); 1129 (52); 1437 (55); 1441, 1495 (52); 1712 (14).
- Hagemann, W. 140 (27); 141 (54); 142 (55); 275, 277 (52); 278 (22); 386 (46); 400 (14); 429, 487 (46); 589 (14); 623 (11); 683 (47); 684 (11); 1134 (55); 1183 (46); 1154 (14); 1200 (46); 1282 (52); 1283 (19); 1304 (54); 1329 (52); 1303 (22); 1330 (27); 1342 (41); 1343 (43); 1344 (36); 1345 (52); 1348 (29); 1354 (11); 1444 (46); 1501 (12); 1551-III (14); 1572 (11); 1586 (52); 1587 (47); 1617A (21); 1638 (27); 1640 (14); 1689 (32); 1690 (46); 1712 (44); 1777 (19); 1924 (7); 1925 (11); 1934 (52); 1938 (55); 1989 (26); 1998 (27); 3976 (22).
- Hathewai, W.H. 1104 (55).
- Haugth, O. 1265 (46); 2791 (43); 4089 (55); 4528 (14); 5083 (46); 5084 (14); 5099 (55); 5173 (52); 5273 (55); 5317 (51); 5374 (25); 5671, 5743 (52); 5744 (43); 5792 (16); 5897 (52); 5906 (16); 6082 (43); 6105 (31); 6151 (49).
- Hernández, J. 157, 560 (46).

- Hno. Ariste Joseph sn (52).
- Hno. Daniel 138 (46); 638A (52); 3399 (46); 3840 (43); 5562 (21); sn (46); sn (52); sn (55).
- Hno. Roberto Mario sn (55); sn (9).
- Hodge, W.H. 6558 (55).
- Huertas, G. 5423 (52); 5515, 6030 (19); 6291 (43); 6314, 6466 (54); 6589 (19); 6661 (43); 6897 (14); 6927 (55).
- Huertas, H. 6001 (22); 6927 (55).
- Humbert, H. 27007 (11).
- Hutchinson, P. 3063 (1).
- Idrobo, J.M. 177, 2702 (46); 2944 (27); 2936 (1); 2975 (52); 3022 (54); 3285 (17); 3324, 3349 (52); 3352, 3363 (54); 3405 (29); 3462 (43); 3575 (6); 3629 (53); 3633 (52); 3719 (43); 3755 (55); 3770 (54); 3786 (11); 3822 (52); 3817 (17); 3848 (54); 3961 (55); 8772 (44); 9522, 9524 (52); 9523 (14); 9527 (11); 10248 (2); 10580 (14); 11284 (44); 11285 (43); 11638, 11849 (46); 11850 (43).
- Jaramillo, J.M. 2815 (52).
- Jaramillo, R. 2795 (52); 2836 (55); 2861 (55); 2900 (54); 2912 (55); 2919 (52); 2921 (52); 2923 (55); 2935 (52); 3024 (52); 3117 (52); 3128 (54); 3142 (27); 3173 (55); 3168 (19); 3224 (54); 3225 (55); 3236 (55); 3240 (54); 3256 (55); 3255 (52); 3329 (52); 3330 (55); 3412 (55); 3413 (54); 3414 (52); 3421 (52); 3466 (52); 3647 (46); 3732 (52); 3737 (52); 3746 (52); 3748 (14); 3766 (27); 4120 (55); 4124 (52); 4193 (55); 4194 (52); 4254 (27); 4258 (55); 4274 (52); 4371 (22); 4400 (52); 4421 (52); 4460 (55); 4461 (52); 4580 (54); 4583 (52); 4679A (52); 4835 (26); 5430 (55); 5431 (52); 5432 (52); 5477A (33); 5661 (21); 5729 (53); 5748 (21); 5880 (19); 5991 (26); 6007 (12); 6087 (7); 6255 (53); 6295 (52); 7537 (1); 7659 (46).
- Killip, E. P. 15004 (14); 15094 (46); 15281 (43); 15637 (52); 15799, 17128 (55); 17968 (22); 18209 (55); 18419 (52); 20062 (55); 20649 (27); 33001 (51); 33123 (46); 33262 (51); 33715 (52); 34192 (54); 34638 (14); 35353 (51); 38038 (55); 38059 (52); 39031 (51); 39823 (14).
- Knoth, C.E. 3326 (52).
- Kubocz, T. 116 (52); 120 (22).
- Kuhry, P. 317 (55).
- López, R. 1613 (46).
- Langenheim, J. 30630 (14).
- Leal, M. 43 (9).
- Leist, N. 2201 (10); 2202 (12); 2214 (7).
- Lellinger; 430 (51); 818 (52); 956 (52).
- Linares, E. 2276 (55).
- Little, E. 7438 (52); 7818 (55); 8160 (14); 8161 (52); 8162 (54); 8163 (55); 8178 (54); 8179 (52); 8183 (55); 9173 (52); 9174 (55); 9284 (14); 9325 (46); 9359 (50); 9361 (52); 9362 (54); 19720 (46).
- López, N. de 236 (52); 237 (14); 2637 (14).
- Lozano, G. 704A (52); 2482 (32); 2632 (52); 3164 (14); 3179 (54); 3192 (52); 3317 (11); 3524 (52); 3647 (10); 3750 (32); 3943 (2); 4067 (12); 4068, 4341 (52); 4692 (26); 4944 (54); 5030 (46); 5446 (52); 5505 (43); 5510 (11); 5511 (54); 5603, 5754, 5835 (46); 5848 (32); 5913 (4); 5928 (32); 5990 (43); 5991 (14); 5993 (54); 6027 (52); 6139 (46); 6278 (32); 6698, 7040 (52); 7433 (46).
- Luteyn, J.L. 4848 (14); 5009 (27); 6833 (52); 6835 (43); 6929 (47); 6938 (11); 6981 (55); 7026, 7067 (52); 7158 (47); 7271 (52); 7272 (50); 7273 (46); 7282 (54); 7291 (43); 7404 (10) 7416, 7549 (12); 7558 (54); 7663 (21); 7746 (52); 10114 (7); 10181 (54); 10207 (12); 10297 (11); 10419 (54); 10637 (21); 12237 (54); 12240 (43); 12838 (36).
- Llanos, F. 2258 (52); 2446 (52).
- Maas, P. 2010 (32); 2121 (10).
- Macias, D. 116 (7); 117 (12).
- Madriñan, S. 411 (46); 1185 (44).
- Magdefrau, K. 182 (53); 1037 (11).
- Marín; E. 29 (43).
- Mason, H. 733, 1157, 1469 (14); 13934 (46); 13940 (14).
- Mcpherson, G. 13202 (54); 13205 (11).
- Mejía, F. 91 (46); 116, 118 (52); 139 (55); 165, 166 (52); 176 (55); 177 (54); 233 (53); 252 (52).
- Melampy, M. 28 (52).
- Moore, H. 9854 (52); 9855 (55).
- Mora, L.E. 882, 4720 (52); APA300 (46).

- Muñoz, E. 250 (46).
- Murillo, J.C. 1252 (46); 1253 (14); 1287A (32); 1303 (4); 1309 (32); 1314 (1); 1328 (32); 1357 (14); 1363 (1); 1373 (46); 1390 (32); 1396 (44); 1397, 1402 (43).
- Murillo, M. T. 38 (52); 40 (19); 65 (55); 141, 160 (52); 394 (55); 395 (52); 403 (54); 406, 408 (52); 475 (11); 730 (52); 732 (55); 769 (52); 855 (21); 876 (21); 905, 914 (12); 954 (52); 985 (46); 1004 (55); 1084, 1124 (52); 1140 (55); 1141, 1149, 1200 (52); 1234 (30); 1249 (55); 1260 (52); 1277 (27); 1285 (11); 1295 (55); 1304, 1320 (52); 1355 (55); 1363 (43); 1364 (52); 1437, 1468 (46); 1579 (53); 2020 (46); 2028 (52); 2029 (54); 2031, 2060 (55); 2068 (52); 2098, 2110 (14); 2258 (54); 2159 (46); 2260 (49).
- Mutis, E. 45 (54).
- Nee, M. 3813 (46); 3835 (52); 3849 (55); 3887 (54).
- Orozco, C.I. 360 (46); 514 (43); 987, 1680, 1814 (55); 1948 (54).
- Ortiz, F. 131 (52).
- Osorio, G. 26, 68 (46); 76 (14); 93 (46); 94 (14); 95 (52); 116 (46); 118 (14); 119 (52); 139 (46); 149 (52); 186 (54).
- Pabón, M. 239 (46).
- Palacio, M. 71 (52).
- Peña, A.G. 22 (46).
- Peñuela, L. 9 (52); 10A(12); 10B (11).
- Pérez, E. 63 (55); 64 (54); 239 (52); 4825 (14); 5783 (46); 6099 (26); 6263 (52); 6794, 8137 (46); 8137A (14); 8384 (52); 8385 (12).
- Phillipson, W.R. 1282 (52).
- Pinto, P. 67 (52); 634 (46); 644A (52); 1204 (46).
- Pipoly, J. 12037 (52); 12097 (55).
- Plowman, T. 3662 (39); 3742 (52); 4351 (54).
- Posada, S. 153 (55).
- Prado, M. 86 (54).
- Prance, G. T. 28063 (32).
- Quiñonez, L.M. 32 (46).
- Ramírez, B.R. 3438 (44); 3592 (7); 3655 (35).
- Ramírez, E.R. 5286 (11).
- Ramírez, J. 506 (32).
- Rangel, O. 227 (55); 257 (52); 290 (55); 1002 (21); 1381 (52); 1811 (21); 1946 (55); 2561 (11); 11205 (33); 11637 (52); 13193 (43).
- Ranghel, A. 142 (46).
- Reneta, A.J. 7, 162 (55).
- Reyes, O. 31 (34); 32 (42).
- Riascos, A. 12 (52).
- Rodríguez, A. sn (55).
- Rodríguez, J. 4 (14).
- Romero, D. 25, 26 (53); 27 (52); 75 (11); 76 (53).
- Romero-Castañeda, R. 1328 (52); 1436 (46); 7082 (55); 7359, 7394, 7832 (52); 7854 (55); 11348 (14).
- Rooden, van J. 253, 283 (46); 481 (11).
- Ruiz, N. 242 (47); 247 (27); 293 (43).
- Sánchez; D. 615 (52); 752 (55); 2182 (7); 2237 (52); 2264 (23); 2329 (22); 2338 (54); 2359 (23); 2363 (7); 2384 (20).
- Sánchez; R. 286, 732 (22); 1330 (52).
- Sandeman, C. 5552 (46).
- Santa, J. 2 (14); 6 (46); 7 (52); 8 (43); 16 (55); 17 (54); 18 (52); 19 (55); 21 (52); 22 (55); 23 (14); 24 (43); 26 (46); 27 (55); 28 (52); 31 (46); 39 (14); 44 (52); 45 (55); 46 (14); 47, 51 (54); 52 (52); 69 (55); 71, 97, 148 (46); 195, 276 (51); 388, 396 (46); 405 (52); 407 (55); 408 (54); 410 (43); 411 (55); 412 (46); 415 (44); 418 (43); 422 (54); 423 (55); 424, 426 (52); 427 (54); 425, 449 (46); 450 (14); 452 (52); 456 (14); 467 (54); 472 (10); 473 (14); 479 (46); 488 (14); 538 (44); 556 (46); 561 (32); 595 (14); 596, 597, 598 (46); 599 (43); 600 (14); 607, 608 (10); 626 (46); 627 (14); 635 (52); 636 (46); 637 (13); 638 (55); 646 (52); 647 (46); 648 (14); 649 (46); 651 (26); 653 (14); 659 (13); 660 (55); 662, 663 (52); 673 (46); 674 (14); 675 (52); 676 (11); 680 (55); 681, 682 (52); 683, 684 (20); 685 (52); 686, 687 (21); 688 (28); 689 (38); 690 (21); 691 (53); 692 (22); 693 (20); 694, 695, 696 (21); 706 (14); 708, 711 (46); 713 (14); 714 (52); 716 (11); 717 (53); 718 (52); 719 (7); 720 (54); 722 (22); 723 (52); 729, 734 (14); 747 (51); 748 (32); 749 (51); 761 (46); 762 (52); 763 (14); 802 (32); 850 (46); 852 (6); 853 (2) 855 (28); 857 (52); 859 (14); 860 (54); 861

(14); 872 (22); 873 (52); 874, 875, 876 (22); 878 (53); 883 (33); 886 (53); 887 (22); 890 (49); 891 (14); 892 (43); 922 (11); 926, 927 (36); 928 (41); 931 (52); 934 (18); 935 (49); 937 (21); 941 (53); 944 (11); 945, 948 (38); 950 (21); 955 (17); 963 (11); 974 (49); 978 (53); 981 (7); 984 (49); 985 (11); 986, 987 (47); 988 (10); 994 (48); 995 (50); 1017, 1020 (33); 1023 (22); 1024, 1025 (15); 1028 (22); 1029 (33); 1032 (15); 1048 (25); 1049 (32); 1050 (51); 1070 (4); 1073 (43); 1074 (44); 1085 (33); 1096 (30); 1107 (15); 1114 (21); 1120 (15); 1122 (33); 1128 (14); 1156 (32); 1173 (11); 1177, 1179, 1181 (23); 1183 (33); 1186 (22); 1187, 1191 (33); 1192 (23); 1195, 1196 (20).

Santiago, C. 10608 (55).

Saravia, C. 1172 (55); 1210, 1306 (52); 1319 (27); 2524 (19); 3162, 3417 (55); 3987 (46); 4225 (52); 4226 (55); 4421 (52); 4422 (55).

Sarmiento, F. 327 (55); 393 (46); 1106 (54); 1693 (55).

Sastre, C. 926, 1204 (46); 3322 (32); 3488 (45); 4970 (44).

Schneider, M. 611 (5); 648 (52); 720A (53); 766 (46); 1192 (28).

Schultes, R.E. 11541 (52); 11543 (54); 15666, 15911 (46); 17474 (45); 18600 (55); 18776 (19); 20169 (52); 24038 (46).

Schwabe, W. 67/038 (52); C1 69.1, C1 69/075 (54).

Shepher, J.D; 37 (32); 526 (27).

Sierra, J. 8 (52).

Silverstone, P. 573 (32).

Sneider, C. 5173 (46).

Soejarto, D. 2214 (21); 3035 (55).

Sturm, H. 1 (55); 3 (52); 62 (17); 80 (21).

Sugden, S. 294 (46).

Thomas, W. 5531 (32).

Torres, H. J. 75 (52); 107 (27); 640 (52); 641 (54); 936 (52); 1502 (27); 1510 (32); 1609 (28); 1618 (54); 1665 (9); 1747 (54); 1783 (27); 1854B (40); 1855 (12); 1870 (29); 2413 (36); 2414 (21); 2444 (40).

Triana, J. 696/1 (54); 696/2, 696/3 (55); 696/5 (52); 696/6 (51); 696/7 (46).

Tryon, R.M. 678 (52); 679, 721, 854, 858, 972, 990, 1002 (12); 5892 (55); 5935 (54); 5947 (52); 5974 (49); 5975 (11); 5977 (54); 5982 (52); 6025 (11); 6026, 6037, 6063 (52); 6065 (55); 6068 (54); 6082 (52); 6066 (33); 6130 (52); 6162 (55); 6181 (52).

Uribe, C. 215 (46).

Uribe, L. 2122 (52); 2181, 4334 (55); 4702, 4707 (46); 5100 (55); 5117 (52); 5171 (46); 5534 (55); 5535 (52); 5436 (43); 5834 (55); 5907 (27); 5940 (52); 5971 (46); 6146; (27); 6954 (46); 6955 (14).

Velayos, M. 6308, 6405 (45); 6980 (54).

Vélez, M. 1474 (17); 1501 (55); 4052 (32).

Wheat, D. 804 (46).

White, S. 576 (21); 640 (52).

Wijninga, V. 313 (55).

Yépes-Agredo, S. 330 (46); 332 (14); 437 (52); 503 (54); 918 (39); 3376 (55); 3384 (52).

Zarucchi, J. 1352 (44); 1413, 1749 (46); 2105 (45); 4176, 4301, 4354, 4419 (52); 4425 (43); 5370, 5693 (52); 5801 (46).

Zárate, C. 55 (46).

Zuloaga, F. 4039 (52); 4043 (54).

Zuluaga, S. 45 (21); 73 (55); 74 (52); 650 (46).

# ASPECTOS ECOLÓGICOS DEL CAIMÁN LLANERO (*CROCODYLUS INTERMEDIUS* Graves, 1819) EN UN SUBAREAL DE DISTRIBUCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE ARAUCA (COLOMBIA).

por

Olga Patricia Bonilla Centeno<sup>1</sup> & Sandra L. Barahona Buitrago<sup>1</sup>

## Resumen

**Bonilla Centeno O.P. & S.L. Barahona Buitrago:** Aspectos ecológicos del caimán llanero (*Crocodylus intermedius* Graves, 1819) en un subareal de distribución en el departamento de Arauca (Colombia). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23**(86): 39-48. 1999. ISSN 0370-3908.

Se presentan datos relativos a la ecología y el comportamiento de *Crocodylus intermedius* en los ríos Cravo Norte, Ele, Lipa, Casanare y el Caño Matepalma. Se establecen diferencias en el comportamiento de los adultos y el cuidado del nido y de las crías. El periodo de nidificación ocurre desde finales de diciembre hasta mediados de enero. Las crías nacieron entre mediados de marzo a principios de abril. El tamaño de las nidadas fue de 20 a 34 huevos. Se ubicaron 7 zonas de nidificación. Nidos abiertos después del nacimiento de las crías permiten presumir que las hembras excavan los nidos al momento del nacimiento. La zona de estudio presenta aspectos bióticos y abióticos óptimos; sin embargo, sus pobladores constituyen un factor de enorme presión.

**Palabras claves:** Crocodylia, *Crocodylus intermedius*, comportamiento, reproducción, hábitat.

## Abstract

Some behavioural and ecological aspects were observed in a remaining population of *Crocodylus intermedius* found in a colombian region called Arauca, in the rivers Cravo Norte, Ele, Lipa, Casanare and caño Matepalma. The behaviours during the daily activity were different among the adult animals studied. These surveys were carried out during the dry season in 1994 and 1995. Behaviours of nesting and parental care were observed. The nesting period took place from

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Naturales - Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia, Apartado Aéreo 7495, Santafé de Bogotá, Colombia.

late December in 1994 to mid January in 1995. The crocodilian eggs hatched from mid March to the beginning of April. According to the data collected, the clutch size for this region is 20 to 34 eggs. Seven zones of clutching were found. Big holes, observed after the hatchings, suggest that maybe the female crocodiles open the nest when the young are emerging from the eggs. The group of animals found is placed in a zone which has optimal biotic and abiotic aspects. However the inhabitants of this region are an enormous pressure factor upon *Crocodylus intermedius*.

**Key words :** Crocodylia, *Crocodylus intermedius*, crocodilian behaviour, reproductive ecology

## Introducción

La información relacionada con la ecología de la especie en el medio natural es limitada. Medem (1981, 1983) presentó diferentes aspectos de la ecología de *Crocodylus intermedius* en Colombia y Venezuela. Tal información corresponde a una recopilación de todas las investigaciones llevadas a cabo, y sirve de base para nuevos estudios. Recientemente se realizaron en Venezuela dos investigaciones de importancia sobre la ecología reproductiva de la especie. Estos trabajos se iniciaron en 1985, y como parte de un intento por desarrollar un programa de conservación para el *Crocodylus intermedius* en ese país. El primero trata de la ecología de la nidificación y las relaciones con los huevos y la nidada (Thorbjarnarson & Hernández, 1993a); el segundo se ocupa del comportamiento reproductivo y social (Thorbjarnarson & Hernández, 1993b). Estos estudios se realizaron tanto en el medio silvestre como en cautiverio.

## Metodología

La recopilación de la información sobre los aspectos ecológicos y etológicos se llevó a cabo de la siguiente forma:

**Aspectos etológicos:** se utilizó el método "ad libitum" (Lehner, 1979) en un estudio preliminar sobre el comportamiento relacionado con asoleo y calentamiento de adultos, cuidado del nido, cuidado de un grupo de crías (cuidado parental) y comportamiento de las crías. Se ubicó un grupo de individuos de *Crocodylus intermedius* como muestra de la especie en el área. Adicionalmente, se recopiló información sobre el cuidado del nido y de las crías a partir de la información recogida en las encuestas, y de la observación de rastros en diferentes sitios de la zona estudiada.

**Aspectos reproductivos:** la recolección de la información sobre la reproducción de la especie en el área se

hizo mediante la búsqueda de nidos y crías, observación y medición de nidos intactos, así como de nidos abiertos luego del nacimiento de las crías; también se observaron las características de las zonas de nidificación y de los grupos de animales que se ubican allí. Además, se hicieron encuestas entre los habitantes relativas a la observación y la recolección de huevos y crías.

**Hábitat y relación con los humanos:** para la evaluación y la descripción del hábitat, se recogió información general sobre la vegetación (estratos, altura, especies más comunes, zonas intervenidas), y la fauna asociada (especies presentes en la zona). También se midieron y observaron algunas de las características limnológicas de los cuerpos de agua ocupados por ejemplares de *Crocodylus intermedius* (conductividad, color, sólidos disueltos). Igualmente se estableció la relación que mantienen los pobladores de la zona con la especie; esto se hizo a través de observaciones e indagaciones.

## Resultados y discusión

**Aspectos etológicos:** las observaciones relativas al comportamiento se hicieron entre el 8 y el 11 de marzo y entre el 2 y el 12 de abril de 1995, en un grupo de reproducción constituido por tres individuos adultos: un macho (400-500 cm.), un animal de menor tamaño (250 cm.), una hembra (450 cm), y un grupo de crías. Las observaciones abarcaron un total de 40,48 horas de observación durante el período de luz diurna para los tres animales adultos, y de 108 horas (10 días) para el grupo de crías.

**Asoleo y calentamiento de animales adultos.** Del total de horas observadas (Figura 1), el macho (C2) y el animal de menor tamaño (C3) permanecieron un 66.6 % y un 61.1% de horas luz en la superficie del agua, respectivamente. La hembra (C1) solamente permaneció un 4,16% en la superficie del agua. A los animales 2 y 3, la mayor parte del tiempo se les observó la tabla craneal, aunque a veces emergieron la parte dorsal del cuerpo y

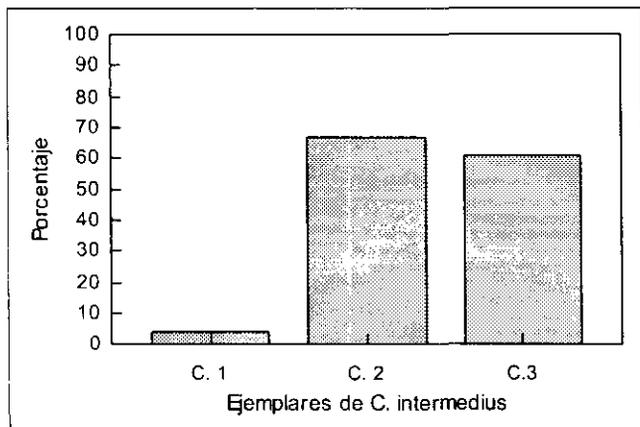


Figura 1. Porcentaje de tiempo en la superficie del agua. C1. (hembra), C2 (macho), C3 (indeterminado)

de la cola (Figura 2a,b,c). Aunque los cocodrilos adultos son frecuentemente activos durante el día, siendo una de sus actividades más comunes el asoleo (Thorbjarnarson, 1988), las observaciones anteriores no corresponden a tal actividad, ya que solo están exponiendo a la radiación solar una mínima parte de su cuerpo, mientras que la gran masa corporal se encuentra bajo agua. Para los animales grandes la radiación solar constituye una fuente importante de calor, el cual a su vez es necesario para procesos vitales como crecimiento y reproducción (Lang, 1987). Durante la mayor parte del periodo de observación no se ubicó ningún individuo en tierra, aunque existen buenos sitios para el asoleo, lo cual hace presumir que no lo hacen a causa de la acción perturbadora de los humanos, como ha sido observado por Thorbjarnarson (1988) en la especie *Crocodylus acutus*.

Además de la conducta antes registrada, el macho también fue observado durante tres días consecutivos en una posición de asoleo que implica exponer su cuerpo a la radiación solar, con excepción de la cola (Figura 2d). Este, lo hizo a una misma hora (3 :00 - 4 :00 p.m.) y durante lapsos de tiempo similares, sobre una pequeña porción seca en el centro del tramo del río que ocupaba. Esta posición ha sido descrita como semisumergida en *Caiman crocodylus* por Ayarzagüena (1983). Este comportamiento puede ser interpretado como selección termal.

Por la observación de huellas de caimán en las playas se puede deducir que los animales en esta área salen en las noches y en las primeras horas de la mañana emergiendo del agua parte de su cuerpo, y permaneciendo así sobre el suelo. Este comportamiento de arrastramiento

fuera del agua ha sido también registrado por Thorbjarnarson (1988) para *Crocodylus acutus*. El desplazamiento de los cocodrilos fuera del agua durante la noche puede ser un comportamiento asociado con el acecho de animales que le sirvan de alimento, más que con el hecho de buscar temperaturas más frías durante la noche.

**Cuidado del nido.** Del total de horas de observación, la hembra solamente permaneció en la superficie un 4.16 % (Figura 1). Esta salió en 16 ocasiones, permaneciendo en la superficie un promedio de cinco minutos por vez y adoptando una posición emergente-alta (Figura 2c), mostrando la mayoría de las veces la cabeza, la parte dorsal del cuerpo y la cola; siempre se le observó cerca y frente al nido. Según el testimonio de un habitante del lugar, quien permaneció una noche del mes de enero en este sitio, tal animal se acercaba a la playa y producía algunos ruidos; aunque no intentó salir a tierra, se consideró tal actitud como hostil.

Además de la información anterior, se obtuvieron datos sobre actitudes que presentaron individuos adultos en sitios donde habían nidos. El 19 de febrero de 1995 se observó un animal adulto dentro del agua y frente a un nido en el río Casanare; en la noche fue visto nuevamente dentro del agua a unos cinco metros de la playa y frente al sitio donde se encontraba el nido. En el verano de 1992, en el momento en que eran recogidos huevos de caimán en el sitio La Palmita (Río Cravo Norte) se observó a un adulto que salió a la superficie del agua cerca al sitio de nidificación. El animal se aproximaba a la playa y se hundía, repitiendo esta actitud durante todo el tiempo que duró la recolección de los huevos. Este comportamiento es diferente al mostrado por el adulto que permanecía cuidando el nido en el río Casanare, pues cuando se excavó el nido, dicho animal no salió a la superficie.

Durante el primer día de observaciones en el sitio El Viso, se encontró cerca del nido, una huella del cuerpo y la cola de caimán que medía 420 cm. A lo largo de la permanencia en ese pozo no se hallaron nuevas huellas. Es frecuente encontrar rastros de caimán en las zonas de postura, lo que hace pensar que las hembras salen completamente a tierra para permanecer junto a sus nidos. Esta actividad se realiza durante la noche (huellas de esta clase se encontraron en los ríos Cravo Norte y Casanare); sin embargo, cuando detectan presencia humana, no lo hacen.

Las anteriores observaciones indican que algunas hembras de la zona permanecen dentro del agua cerca de sus nidos, probablemente durante todo el tiempo de incubación; en las noches salen a tierra para visitarlos. No hubo una actitud defensiva frente a los humanos en

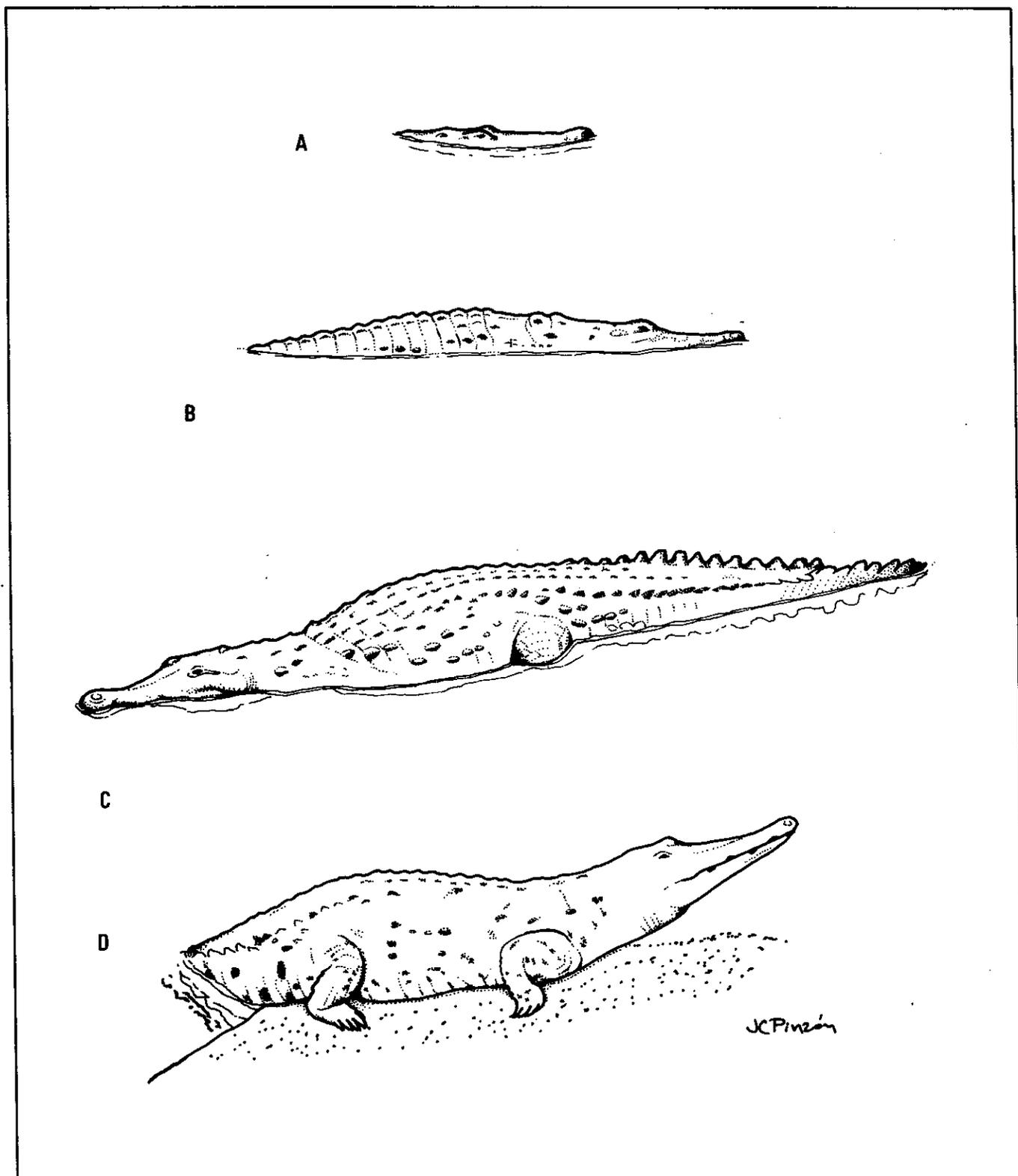


Figura 2. Esquema de las posiciones observadas en los individuos de *Crocodylus intermedius* donde muestran : A) Tabla craneal, B) Tabla craneal y lomo, C) Tabla craneal, lomo y cola, D) Semisumergido.

los dos casos mencionados. Según **Thorbjarnarson**, (1987) *Crocodylus intermedius* en el medio silvestre no presenta comportamiento agresivo ante los humanos, a diferencia de animales cautivos donde la defensa del nido es agresiva. Un comportamiento similar en cautividad es señalado por **Lugo** (1995).

**Cuidado de las crías.** La observación de este comportamiento se hizo luego del nacimiento de las crías, el cual se produjo en la época de las primeras lluvias en el sitio El Viso (Río Cravo Norte). Después de realizar visitas regulares, el día 4 de abril se encontró el nido abierto y rastros del nacimiento de caimanes (cascarones). Posteriormente se encontraron crías en la vegetación aledaña a la playa de postura (Figura 3), al igual que se advirtió la presencia de la hembra en el sector del río, frente al sitio donde se ubicaron las crías (el sitio en el que ahora se le observaba, era diferente al que ocupaba cuando aún no habían nacido las crías). Este caimán emergió 18 veces con un promedio de 5 minutos en la superficie constituyendo, un 2,7 % del total de horas de observación. Siempre apareció en el mismo sector (unos 100 m. de río). Sus salidas a la superficie fueron pocas y de corta duración; al detectar presencia humana se hundía inmediatamente, y a pesar de que no se le podía observar, seguramente permanecía en el mismo sitio. La mayoría de las veces, se le observaba solamente la cabeza. Este caimán nunca respondió a los sonidos que emitían las crías al ser atrapadas.

El 15 de abril se encontró un segundo grupo de crías en una playa en cercanías al sitio La Palmita. No se detectó presencia de ningún caimán adulto cerca de ellas;

sin embargo, una hora después, (tras habernos alejado del sitio), un caimán de unos 300 cm. de L.T. se encontraba en la superficie a pocos metros de éstas.

El hecho de que los dos grupos de crías encontrados en el río Cravo Norte formen grupos y sean acompañadas por un caimán adulto coincide con la información descrita por **Thorbjarnarson & Hernández** (1993b).

**Comportamiento de las crías.** El primer grupo de crías se ubicó dentro de vegetación espesa, y siempre permaneció dentro de la misma. Durante la noche el grupo se separaba, para luego reunirse durante el día. En la medida que pasaban los días, la cohesión del grupo se empezó a perder durante las horas de luz, y los animales tendieron a alejarse del sitio inicial. Las crías aprovechaban la entrada de los rayos solares a través de la vegetación, para lo cual adoptan una posición, en la cual elevaban la cabeza hacia la luz para recibir su calor. También salían del agua y permanecían en terreno seco durante algún tiempo.

Un segundo grupo de crías fue visto en actitud de asoleo en una playa, recibiendo directamente los rayos solares a las 12:00 m., y para luego refugiarse en la vegetación aledaña.

Se escucharon sonidos vocales emitidos por las crías. El sonido vocal es similar al descrito por **Ayarzagüena** (1983) en *Caiman crocodilus*, una especie de gruñido muy breve y repetido. El sonido vocal se produjo en dos ocasiones particulares, primero en el momento en que



**Figura 3.** Grupo de crías de *C. intermedius* dentro de la vegetación en el río Cravo Norte



**Figura 4.** Nido de *Crocodylus intermedius* luego del nacimiento de las crías en cercanías a La Palmita (río Cravo Norte). Obsérvense los cascarones esparcidos en proximidades del nido. El nido se ubica muy cerca a la vegetación y el sustrato arenoso se mezcla con el material vegetal seco.

la proximidad de un humano. En el primer caso el sonido vocal es una llamada de auxilio y en el segundo es una llamada de contacto, como lo registra Ayarzagüena (1983) para las crías de *Caiman crocodilus*.

**Aspectos reproductivos.** La época de reproducción ocurre en el período de verano (diciembre-marzo) y en el mes de abril, que es de transición antes de la llegada del invierno (mayo-octubre). Las crías probablemente nacen luego de las primeras lluvias. La postura se realiza en las playas o bancas de los ríos, las cuales quedan descubiertas al bajar los niveles de agua. Así, el período de incubación debe realizarse antes de que el nivel de los ríos suba nuevamente.

Las hembras de los ríos Cravo Norte y Ele anidaron desde finales de diciembre de 1994 y hasta mediados de enero de 1995. Hay registros en los últimos cinco años de nidadas con un número de huevos que varían entre 20 y 34, pero se debe tener en cuenta que el registro de 34 se hizo a partir del número de crías nacidas, lo cual implica que el número de huevos pudo haber sido mayor, como han señalado Medem (1981) y Thorbjarnarson (1987). En los ríos Ele y Cravo Norte las crías nacieron en el período comprendido entre mediados de marzo y principios de abril de 1995.

En cautiverio las hembras de *Crocodylus intermedius* excavan los nidos, desenterrando los animales al momento de nacer (Thorbjarnarson & Hernández, 1993b). Un nido abierto después del nacimiento de las crías corresponde a una cavidad grande y profunda (Figura 4). Se hallaron dos nidos en estas condiciones, lo cual probablemente implicaría que en medio silvestre también excavan los nidos para desenterrar a sus crías. Las dimensiones de los dos nidos son similares, y se encontraron cascarones en dos metros a la redonda (Tabla 1).

**Zonas de nidificación.** Fueron estudiados cuatro sitios de nidificación de *Crocodylus intermedius* en el área (Fi-

gura 5). Las mismas muestran diferencias en su tamaño, grado de inclinación y altura sobre el agua (Tabla 2).

Las hembras ponen en lugares que van desde grandes playas sin ninguna inclinación (río Casanare) a pequeñas banquetas con inclinaciones fuertes (río Cravo Norte). La altura de estos sitios con respecto al nivel del agua varía desde un poco más del metro hasta los cinco metros. Así mismo, estos sitios de nidificación presentan diferencias en la época en que son afectados por la inundación, al elevarse los niveles de agua en los diferentes ríos. En los tramos estudiados, el río Cravo Norte eleva su nivel de agua tardíamente (observaciones de campo). Por el contrario los ríos Ele y Casanare, debido a la intensa diferencia en la época en que son afectados por la inundación, al elevarse los niveles de agua en los diferentes ríos. En los tramos estudiados, el río Cravo Norte eleva su nivel de agua tardíamente (observaciones de campo). Por el contrario los ríos Ele y Casanare, debido a la intensidad de las precipitaciones en sus cabeceras, elevan sus aguas temprana o medianamente.

En el río Casanare la hembra observada nidificó en una extensa playa, sin ningún grado de inclinación. El nido fue ubicado cerca del agua (a 13,34 m.) y lejos de la vegetación (a 40 m.). La altura sobre el nivel del agua fue la menor registrada en la zona. Según estos parámetros, la posición del nido implica, en primer lugar, que queda desprotegido de vegetación, dando mayor oportunidad a los depredadores (como los "matos", *Tupinambis* sp., algunas rapaces y los humanos) sobre las crías, y presentando diferencias en la temperatura de incubación con respecto a los sitios sombreados.

En segundo lugar, la altura a la cual queda el nido es una desventaja, en relación con posibles inundaciones, riesgo que se compensa con la temprana nidificación. En tercer lugar, al estar muy cerca del nido, la hembra tiene mayor facilidad para cuidarlo, permaneciendo sumergida y lista para llevar al agua sus crías rápidamente.

En el río Cravo Norte las tres hembras estudiadas nidificaron en bancas pequeñas con pendientes pronunciadas y cerca a la vegetación. En uno de los nidos se observa la arena mezclada con las hojas secas, lo cual puede considerarse como atípico por la mezcla de materiales. La distancia al agua es mayor que la distancia a la vegetación. La posición de estos nidos, (a diferencia del ubicado en el río Casanare) indica que están protegidos de depredadores (aves y humanos) gracias a la vegetación. Sus temperaturas de incubación estarán influidas por la cobertura que tenga la vegetación sobre ellos. Los nidos ubicados en sitios altos no son afectados

**Tabla 1.** Dimensiones de dos nidos abiertos, luego del nacimiento de las crías, en el río Cravo Norte.

NIDOS ABIERTOS		
No.	1	2
Lugar	Río Cravo Norte	Río Cravo Norte
Ancho	1,61 m.	1,50 m.
Largo	2,38 m.	2,10 m.
Profundidad	46 cm.	45 cm.

Tabla 2. Características de cuatro zonas de nidificación de *Crocodylus intermedius* en la zona de estudio.

ZONAS DE NIDIFICACION				
No.	1	2	3	4
Río	Casanare	Cravo Norte (Viso)	Cravo Norte (Proximidades a la Palmita)	Cravo Norte (La Palmita)
Dimensiones (m.)				
largo	200	51	25	58
ancho	54	28.34	19	12.60
Altura sobre el nivel del agua (m.)	1.24	3.12	5	2
Pendiente	no hay	>30 grados	>30 grados	>30 grados
Distancia del nido al agua (m.)	13.34	22.14 15.29	18.49	8.90
Distancia del nido a la vegetación (m.)	40	2	1.15	3.70
Tipo	playa	banca	banca	banca

por inundaciones tempranas, y al encontrarse cerca al agua brindan facilidad a la hembra para el cuidado del nido y para el transporte de las crías al agua.

Las hembras del río Cravo Norte anidaron en hábitats similares a los encontrados en el río Capanaparo (Venezuela): bancas del río que erosionan el bosque de galería y requieren de una pronunciada y corta inclinación para que la hembra alcance el nido (Thorbjarnarson, 1993b).

De las observaciones generales realizadas en la zona de estudio, y de la información recibida de los habitantes de la región, en los ríos Casanare, Ele y Cravo Norte, se infiere que las áreas de nidificación potenciales corresponden a playas de baja pendiente y bancas de inclinación pronunciada. En el río Ele varios de estos sitios, en especial las bancas, son de tipo gredoso.

Se determinó que en el área de estudio hay siete zonas de nidificación, cuatro en el río Ele, y tres en el río Cravo Norte, y que tales sitios corresponden a seis grupos de reproducción. En cada grupo puede identificarse un animal de gran tamaño que puede ser un macho, y junto a él existen animales de tamaño menor que corresponderían a hembras en estado reproductivo o a animales inmaduros. Estas observaciones con respecto al tipo de playas utilizadas para la nidificación, así como la existencia de grupos de reproducción, son similares a las realizadas por Thorbjarnarson (1993b) en Venezuela.

### Caracterización del hábitat

**Hábitat de las crías.** Las crías fueron encontradas en un sector de la playa protegida del viento bajo la vegetación (*Alchornea castaneifolia* y *Coccoloba* sp.), la cual tiene una altura de 3 m. Las ramas de estas plantas se extienden aproximadamente unos 5 m. en el agua, el sol se filtra por entre ellas, y sus raíces sirven de refugio a las crías. La temperatura en este sitio es más baja que la del ambiente, y el agua tiene una profundidad de 1-20 cm., permaneciendo tranquila.

El refugio del segundo grupo de crías estaba más expuesto que el anteriormente descrito. Los animales se encontraron dentro de un estrato arbustivo (dominado por *Coccoloba* sp.); allí la vegetación no se extiende sobre el agua. Los animales se trepaban e introducían en los agujeros de las raíces expuestas de las plantas. Junto a este sitio existe una pequeña playa. El agua en este sector presenta poco movimiento.

**Vegetación:** En el área estudiada, la vegetación característica es el bosque de galería, con avance de la sabana natural en algunas partes. Se observan dos estratos: uno arbustivo donde predominan las especies *Alchornea castaneifolia* (mangle de agua) y *Coccoloba* sp, y uno arbóreo donde predominan *Inga* sp. (guamo) y una especie de palma (no identificada). La altura de este estrato alcanza los 30 m.

A lo largo del río Casanare es notoria la intervención humana. En varios sectores la presencia de cultivos cambia el panorama de la vegetación; en otros predomina el guamo (*Inga* sp.) en las orillas, y se aprecian grupos de palmas (*Scheelea* sp. y *Socratea* sp) y heliconiáceas.

En la parte visitada del caño Matepalma, la vegetación nativa adyacente al caño es abundante, y aparece densamente la especie *Eichhornia crassipes* en las aguas de color café oscuro, lo que indica un alto contenido de materia orgánica en descomposición. Se tomaron valores puntuales de pH (4.5 y 5.0) que indican su carácter ácido.

**Fauna asociada:** las especies más comunes observadas fueron:

**Peces:** *Pseudoplatystoma fasciatum* (bagre rayado), *Phractocephalus* sp. (cajaro), *Plagioscion* sp. (curvinata), *Mylossoma duriventris* (palometa) y *Serrasalmus* sp. (caribe) y *Potamotrygon* sp. (raya)

**Aves:** *Vanellus vanellus* (alcaraván), *V. cayanus* (alcaravancito), *Jacana jacana* (gallito de agua), *Falco sparverius*, *F. ruficularis*, *F. aeneus* (Halcones), *Eudocimus ruber* (corocora roja), corocora blanca, garzones, *Egretta alba* (garza real)

**Reptiles:** *Podocnemis unifilis* (terecaya), *Podocnemis expansa* (tortuga), *Iguana iguana* (iguana) especies que comparten las áreas de nidificación utilizadas por los caimanes. Además de *Podocnemis vogli* (galápago), *Chelys fimbriatus* (caripatúa), *Tupinambis* sp. (mato) y *Caiman crocodilus crocodilus* (baba).

En el pasado *Caiman crocodilus crocodilus* (baba) se encontraba restringida a las quebradas, pantanos y lagos inaccesibles al caimán, puesto que éste ocupaba lagos y ríos profundos (Medem, 1981). Actualmente, en la zona

estudiada, la baba se presenta en densidades muy superiores a las del caimán. En los recuentos nocturnos se registró un total de 841 ejemplares ocupando los ríos donde se encontró *Crocodylus intermedius*.

**Mamíferos:** *Alouatta* sp. (monos araguatos), *Inia geoffrensis* (tonina) *Hydrochaeris hydrochaeris* (chigüiro).

Factores relacionados con los humanos que afectan a *Crocodylus intermedius* en la zona.

**Mortalidad.** La muerte de animales adultos en la región puede ocurrir de dos formas: accidental o deliberada. La muerte accidental ocurre por el ahogamiento de los caimanes cuando quedan atrapados en redes de pesca que son instaladas en los ríos. Solamente un caso de estos se registró en 1994, en el río Casanare. La muerte deliberada constituye la principal causa de mortalidad en la región. En los últimos 10 años han sido sacrificados 7 caimanes adultos (Tabla 3). Existe la tendencia a matar al menos un animal por año.

**Depredación de nidos.** A principios de cada verano los pobladores de la región buscan los nidos de tortugas y caimanes. Hacen esto porque conocen los sitios que utilizan estas especies para nidificar, y han aprendido a reconocer, en el caso del caimán, los rastros que dejan las hembras en la arena luego de su postura, o aquellos que dejan cuando en las noches salen a cuidarlos. Una vez localizado el sitio perforan en la arena hasta llegar a la postura.

**Comercio.** El comercio de la especie se presenta de dos formas: en primer lugar, con la venta de los productos obtenidos de las diferentes partes del cuerpo (cráneos, pieles, manos, grasa). En segundo lugar el comercio se realiza con las crías de *Crocodylus intermedius*, práctica muy común en el pueblo de Cravo Norte.

Tabla 3. Registro de ejemplares de *Crocodylus intermedius* sacrificados en los últimos 10 años

AÑO	No. DE ANIMALES	SEXO	RIO
1995	1	macho	Cravo Norte
	1	hembra	Cravo Norte
1994	1	?	Casanare
1993	1	?	Matepalma*
	1	?	Lipa
1990	1	hembra	Cravo Norte
1985	1	?	Cravo Norte

\*caño

**Hostigamiento.** Se comprobó que el hostigamiento a los animales por parte de pobladores de la zona es permanente en la época de verano, y es generalizado en toda la zona estudiada. Se hace disparándole a los animales cuando salen a la superficie, o en las raras ocasiones en que se asolean en tierra.

**Intervención del hábitat.** La destrucción del bosque primario en las riberas de los ríos es un fenómeno permanente, aunque no muy acentuado. Se han abierto vías de acceso hacia los sitios donde los animales permanecen, lo cual permite el hostigamiento hacia los caimanes. La pérdida de la vegetación causa vulnerabilidad de la especie frente a los humanos. Para mantener una población de cocodrilos, se necesita suficiente cobertura vegetal para protegerlos del hombre (Thorbjarnarson, 1988)

El proceso de deforestación a largo plazo puede traer problemas de sedimentación excesiva de materiales, así como una inadecuada regulación de los niveles de agua; influyendo en la cantidad de alimento primario disponible y en la escasez de hábitats para la reproducción y para el establecimiento de grupos en verano.

Generalmente los sitios que ocupan los caimanes en verano son utilizados por los pobladores para pescar, y durante los últimos años tal área ha comenzado a ser visitada por turistas que se dedican a actividades de pesca, encienden fuego, y arrojan basura en los ríos que son ocupados por los caimanes (Figura 6). Estas acciones seguramente afectan el comportamiento natural de cuidado del nido, cuidado parental y asoleo, además de afectar su ambiente.

**Evaluación de hábitat.** El relicto poblacional de 28 caimanes se ubicó en el delta interno que se forma por la confluencia de las partes bajas de los ríos Lipa y Ele, y la parte media del río Cravo Norte. El Lipa es un río que nace en la llanura, en tanto que el Ele y el Cravo Norte nacen en la Cordillera Oriental. En la época seca los animales se localizan en los meandros o cerca de estos. En el río Ele estos sectores son tramos y en el río Cravo Norte son pozos que se forman al bajar el nivel de las aguas y al secarse varios trechos del río. Los pozos se caracterizan por presentar: aguas profundas, ser sitios adecuados para la nidificación, ser sitios potenciales para el asoleo, tener buena disponibilidad de peces, ser zonas del río aledañas al sitio de postura y estar cubiertas de vegetación arbustiva, adecuada para la protección de las crías al nacer. Allí la vegetación adyacente ha sido intervenida aunque no a gran escala y aun hay buena cobertura.

En la zona existen asentamientos humanos que constituyen un factor de presión contra los caimanes y contra su hábitat. Hay una cantidad aproximada de 150 personas, con una densidad de 0,5 habitantes/Km<sup>2</sup>, la mayoría de las cuales están ubicadas en las orillas de los ríos Ele y Cravo Norte.

En el río Casanare existe un hábitat potencial óptimo para la nidificación de los caimanes, pero la cobertura vegetal en muchos sitios no presta suficiente protección a los animales. En el caño Matepalma existe una vegetación adyacente protectora y hay alta productividad biológica, pero las áreas de nidificación pueden ser inadecuadas; sin embargo, hay indicios de que los animales se han adaptado para nidificar en las bancas barrosas dentro de la vegetación.

### Conclusiones

El relicto poblacional de *Crocodylus intermedius* en los ríos Ele, Cravo Norte y Casanare se distribuye durante el verano en grupos de reproducción. Se ubicaron seis de éstos grupos que a su vez corresponden a siete zonas de nidificación. Se calcula que en el relicto poblacional hay al menos nueve hembras maduras sexualmente. El período de nidificación ocurre entre finales de diciembre y mediados de enero. Las crías en la zona nacen en un período comprendido entre principios de marzo y mediados de abril. El hábitat ocupado por el relicto poblacional presenta condiciones bióticas y abióticas óptimas la conservación de la especie. Sin embargo, la presencia de los humanos influye negativamente, por intervenir el hábitat y matar a los animales, poniendo en peligro la supervivencia de este remanente poblacional.

### Agradecimientos

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades que prestaron valiosa colaboración para la realización de este trabajo: Profesora Asistente Myrian Lugo Rugeles, del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia; Doctor Joaquín Cavijo Bustos, Biólogo de la Universidad Nacional; Profesora Asociada María Cristina Ardila Robayo, del Instituto de Ciencias Naturales; Wildlife Corporation Society -WCS-; INDERENA, Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables; COLCIENCIAS, Instituto de Investigaciones Científicas "Francisco José de Caldas" y Estación de Biología Tropical "Roberto Franco" de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia en Villavicencio. En el área de estudio merecen reconocimiento todos los

habitantes de la región, quienes colaboraron como guías, aportando información sobre la especie.

### Bibliografía

- Ayarzagüena, J. 1983. Ecología del caimán de anteojos o baba (*Caiman crocodilus L.*) en los llanos de Apure (Venezuela). Acta Vertebrata: Estación Biológica de Doñana. 10 (3): 136 p.
- Lang, J. W. 1987. Crocodilians Thermal Selection. Pp. 301-317 In G. J. W. Webb, S. C. Manolis, and P. J. Whitehead. Wildlife Management : Crocodiles and Alligators. Surrey Beatty & Sons, Ltda., Chipping Norton, Australia.
- Lehner, P. 1979. Handbook of ethological methods. Garland STPM Press. New York. US. 403 p.
- Lugo, L.M. 1995. Cría del caimán del Orinoco (*Crocodylus intermedius*) en la Estación de Biología Tropical "Roberto Franco". Villavicencio, Meta. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exa.. 19 (4): 601-606
- Medem, F. 1981. Los Crocodylia de Sur América, Vol. I. Los Crocodylia de Colombia. COLCIENCIAS. pp. 354. Tab. 16. Map. 4. Fig. 138. Bogotá, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1983. Los Crocodylia de Sur América, Vol. II. COLCIENCIAS. pp. 270. Tab. 8. Map. 13. Fig. 71. Bogotá, Colombia.
- Thorbjarnarson, J. B. 1987. Status, ecology and conservation of the Orinoco crocodile (*Crocodylus intermedius*) in Venezuela. Report to WWF. 74 p.
- \_\_\_\_\_. 1988. The status and ecology of the American crocodile in Haiti. Bull. Florida. State Mus., Biol. Sci. 33 (1): 1-86
- \_\_\_\_\_. & H. 1993a. Reproductive ecology of the Orinoco crocodile (*Crocodylus intermedius*) in Venezuela. I. Nesting ecology and egg an clutch relationships. Journal of Herpetology. 27(4): 363-370.
- \_\_\_\_\_. & H. 1993b. Reproductive ecology of the Orinoco crocodile (*Crocodylus intermedius*) in Venezuela. II. Reproductive and social behavior. Journal of Herpetology. 27 (4) 371-379.

# ECOLOGÍA REPRODUCTIVA DE UNA POBLACIÓN DE *COCHRANELLA IGNOTA* (ANURA: CENTROLENIDAE)

por

Jorge Humberto Restrepo & Luis G. Naranjo\*

## Resumen

**Restrepo, J.H. & L.G. Naranjo.** Ecología reproductiva de una población de *Cochranella ignota* (Anura: Centrolenidae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23**(86): 49-59. 1999. ISSN 0370-3908.

Durante el primer semestre de 1994, estudiamos 30 machos y 40 posturas de *Cochranella ignota* en un bosque de niebla a 1900 msnm en la Cordillera Occidental. El agrupamiento de los machos en sitios restringidos y la regularidad en su distribución dentro de cada agregado sugieren territorialidad y selección de sitios de despliegue. La ausencia de patrones en las variables estructurales de hábitat de despliegue y de desove sugiere mecanismos puramente conductuales para la escogencia de parejas. La comparación de la reproducción de esta población con la de otras especies de anfibios anuros revela un sistema tipo Lek.

**Palabras claves:** Ecología, reproducción, comportamiento, Anura, Centrolenidae, *Cochranella ignota*, selección sexual.

## Abstract

During the first semester of 1994, we studied 30 marked males and 40 egg clutches of *Cochranella ignota* in a cloud forest at 1900 m of elevation on the Western Andes. The clumping of resident males at restricted sites and the regular spatial pattern of the individuals within the clumps suggest territoriality and male selection of display sites. The lack of patterns of the structural variables of the habitat used both by males and females suggests behavioral mechanisms of mate choice. The comparison of the reproductive strategy of this population with those of other species of anuran amphibians, reveals the occurrence of Lek behavior in this species.

**Key words:** Ecology, reproduction, behavior, Anura, Centrolenidae, *Cochranella ignota*, sexual selection.

## Introducción

Pocos vertebrados ofrecen la multiplicidad de oportunidades para el estudio de temas centrales de la ecología conductual exhibida por los anfibios anuros neotropicales. Por una parte, el grado variable de inversión parental en la descendencia entre distintos grupos (ver **Duellman**, 1992 para una presentación general) permite examinar hipótesis acerca de la evolución de la táctica reproductiva. Adicionalmente, la reducida movilidad de los adultos de muchas especies durante la época reproductiva ejemplificada por la aparente fidelidad de los machos a perchas de despliegue sexual y las notables diferencias en el comportamiento de cortejo de ambos sexos, facilitan la búsqueda de respuestas a interrogantes básicos acerca de los factores que determinan el éxito reproductivo dentro de una población.

En este sentido, las llamadas "ranas de cristal" (Familia Centrolenidae siguiendo la clasificación genérica para la familia propuesta por **Ruiz-C. & Lynch**, 1991), resultan particularmente interesantes. Por un lado, **McDiarmid** (1975) mencionó que los cantos de todas las especies simpátricas son diferentes e informan a machos de la misma especie donde se localizan otros individuos, lo que el resulta en su espaciamiento a lo largo de las quebradas. El mismo autor comentó la existencia de una distancia mínima entre dos perchas de canto entre las cuales los machos no admiten otro macho cantor de su misma especie. Las hembras raramente se encuentran, excepto cuando van a la quebrada a aparearse, y posiblemente pasen la mayor parte del tiempo en el bosque, probablemente en el dosel. **McDiarmid** (1975) anotó que se desconoce la razón por la cual la hembra elige al macho y sugirió la dualidad de elección entre la vocalización *per se* y el sitio de canto como un buen lugar para depositar los huevos. Aunque sospechaba que los dos factores eran importantes, el autor le dió más peso al segundo.

Por su parte **Villa** (1984), en un extenso trabajo sobre la biología de *Hyalinobatrachium fleischmanni*, sugirió territorialidad basándose principalmente en los puntos enunciados por **McDiarmid & Adler** (1974). El aporte fundamental de **Villa** consistió en el seguimiento de varias posturas y la interacción con parásitos que utilizan a éstas para poner sus huevos. Si se postula que el macho ofrece protección a la progenie, por lo menos en los primeros estadios, la presencia de una postura parasitada dentro del área defendida por un macho, podría influir en la decisión de la hembra en un proceso de escogencia de pareja.

Con base en datos puntuales de *Cochranella griffithsi* en el occidente del Ecuador, **Duellman & Savitzky** (1976), propusieron que tanto el comportamiento territorial como el agonístico, son proporcionales a la densidad de ranas: en otras palabras, la densidad incrementa la probabilidad de encuentros territoriales. Por lo tanto, un número limitado de perchas para cantar podría resultar en un incremento de interacciones territoriales aún cuando existieran pocos individuos. Los autores concluyeron mencionando que las pocas observaciones disponibles sugerían que la ocurrencia de territorialidad fuese frecuente en aquellas especies de ranas en las cuales, por la naturaleza especializada de su forma de vida, utilizan recursos limitados para cantar o poner huevos.

Con base en estos precedentes, en este trabajo buscamos caracterizar aspectos ecológico-conductuales de *Cochranella ignota*, especie endémica de los Andes Occidentales de Colombia, como punto de partida para el examen de hipótesis relativas a la escogencia de pareja. Puesto que algunas observaciones preliminares sugerían el espaciamiento regular de los machos durante la reproducción y teniendo en cuenta que los centrolénidos dependen totalmente de la presencia de agua corriente para su desarrollo después de la eclosión (**Crump**, 1974; **Lynch**, 1979), pretendimos: 1) comprobar si la distribución espacial de los machos correspondía a comportamiento territorial; 2) identificar el papel de variables espaciales asociadas a las perchas de los machos como factores condicionantes del éxito reproductivo de las hembras; 3) demostrar la incidencia de apareamientos poliginicos en la población y 4) identificar los factores responsables por el éxito de apareamiento de los machos.

## Área de Estudio y Metodología

Todas nuestras observaciones fueron hechas en la finca "La Cataisa" (coordenadas GPS 3°35'N, 76°38'W), a 1900 m de elevación en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental y aproximadamente a 5 km. al sur y 2 km. al este del Corregimiento de Bitaco (Vereda Chicoral, Municipio La Cumbre, Departamento del Valle del Cauca, Colombia). Nuestro trabajo se concentró a lo largo de un transecto de 115 m marcado a lo largo de un arroyo que atraviesa una amplia porción de bosque secundario rico en anfibios. La longitud de quebrada con cobertura arbórea continua no sobrepasa los 400 m. en la primera porción, pero después se presenta sin interrupción.

La precipitación promedio del área es de 998 mm (**Ospina**, com. pers.). El patrón estacional de lluvias es de tipo bimodal y de acuerdo con el sistema de classifica-

ción de zonas de vida de Holdridge, la localidad puede considerarse como transicional entre bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) y bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB, IGAC, 1977).

En la localidad el paisaje está dominado por numerosas casas de recreo, con parches de bosque nativo y algunas plantaciones forestales de especies foráneas. La mayoría de las corrientes de agua presentan una buena cobertura vegetal secundaria. Adicionalmente al uso como lugar de esparcimiento, también se presentan en el área pequeños cultivos de flores, plátano, grandes extensiones de té y algunos potreros con ganadería principalmente lechera.

Tanto los remanentes de bosque nativo como la quebrada en sí misma, aún representan hábitats idóneos para varias especies de anfibios y reptiles. En fechas recientes se han registrado 17 anuros, dos salamandras, una cecilia, tres lagartos y una serpiente (J.H. Restrepo, obs. pers.). Además de *C. Ignota*, dentro de los anuros se cuentan dos especies adicionales de Centrolénidos: *Cochranella savagei* y *Centrolene geckoideum*.

**Procedimientos.** Nuestro trabajo de campo se realizó entre 18 de enero y el 10 de octubre de 1994, e incluyó 14 salidas de 6-10 horas de duración. Durante la búsqueda nocturna utilizamos linterna de cabeza. Generalmente iniciábamos las observaciones a las 1900, preferiblemente en noches de poca luna ya que en esta condición los machos son más propensos a cantar (McDiarmid, 1975). Dependiendo de la actividad, invertíamos entre dos y cuatro horas en el recorrido del transecto.

Con base en el levantamiento topográfico de la quebrada utilizando un decámetro y un compás determinamos puntos de referencia marcando con banderas blancas intervalos de 5 m. En cada marca anotamos la respectiva distancia respecto a un arbitrario metro cero. Para registrar tanto los encuentros de machos como de posturas utilizamos banderas amarillas, en las cuales se anotaba el número identificador en forma consecutiva, hasta llegar al final del transecto. Utilizamos este sistema siempre que se comenzaba el recorrido, razón por la cual los identificadores no llevan la secuencia de la distancia recorrida (e.g. #001 se encuentra a los 50 m.).

Hasta donde la situación permitió, registramos el cambio de percha de un macho con una bandera roja, en la cual se anotaba el código correspondiente y adicionando letras para diferenciar la secuencia de movimiento.

Con el fin de caracterizar los sitios elegidos para la puesta y los territorios de los machos, para cada una de

las posturas encontradas durante los recorridos de rutina, registramos las siguientes variables: 1) altura sobre el agua (en caso de encontrarse sobre tierra, la proyección hasta el borde de la quebrada); 2) distancia horizontal al agua (igual a cero para las posturas ubicadas directamente sobre el agua); 3) cantidad de obstáculos en el plano vertical (hasta el agua, ya fueran hojas, ramas, rocas o tierra); 4) altura sobre el agua del último obstáculo (si la postura estaba sobre tierra, proyectada hasta el borde de la quebrada); 5) profundidad del agua (para las posturas que estaban sobre el agua, se tomó la profundidad del sitio más cercano a las mismas); 6) porcentaje de cobertura del dosel (determinada con un densiómetro esférico cóncavo); 7) identidad de postura más cercana; 8) distancia de la postura más cercana; 9) distancia con respecto al inicio del transecto; 10) banda (margen del arroyo; 1 = derecha, 2 = izquierda).

Determinamos el éxito de las posturas mediante el registro del número de huevos o renacuajos (cuando fue posible, se contabilizó por lo menos tres veces y generalmente por dos observadores, hasta lograr un número igual y constante), y de la presencia o ausencia de moscas parásitas; en ocasiones, determinamos el parasitismo por la calidad de la gelatina (limpia o turbia). Para el reconocimiento individual de los machos trabajamos con una modificación del sistema de amputación de la primera falange de los dedos de manos y pies (Ferner, 1979), marcando un dedo en cada extremidad, sin contar el dedo I del pie. En total, cortando una falange de cada dedo se obtienen 16 marcas individuales. Con el fin de disminuir problemas derivados de amputar dos o más falanges de la misma extremidad, excluimos la marca doble en la misma mano o pie. Realizamos el marcaje de forma tal que la amputación no ocurriese simultáneamente en la misma extremidad, por lo cual eliminamos 24 marcas; combinando 16 objetos (dedos) y tomando dos al tiempo, resultan 120 combinaciones ya que  $Combinaciones = [n!/r!(n-r)!]$  en donde  $n$  es el número de objetos (dedos) a combinar y  $r$  el tamaño del grupo a combinar. Este número más las 16 marcas individuales (una única amputación por 16 dedos) nos da un total de 136. A este resultado debe restársele las 24 marcas provenientes de la amputación simultánea en la misma extremidad. Por lo tanto el gran total corresponde a 112 marcas individuales, que para el caso resultaron más que suficientes.

Para cada macho observado, además del número identificador, también anotamos la distancia con respecto al metro 0, la banda, el desplazamiento con respecto a la anterior observación y la altura de la percha.

Para la determinación del tamaño del territorio y asuntos concomitantes como agresividad, al marcar los machos anotamos también la posición en la quebrada (e.g. altura sobre el agua, distancia de la orilla) y marcamos el sitio de percha con un número que permitió relacionarlo con el individuo marcado, o en su defecto, determinar la presencia de individuos intrusos que hubiesen "derrocado" al poseedor conocido. Cuando ya se detectaron los machos territoriales "estables", se relacionaron las características de la percha con el tamaño del territorio con base en las posturas.

Para los análisis estadísticos, explicados en el texto, se utilizó el paquete de programas estadísticos NCSS (Hintze, 1987).

## Resultados

**El ciclo anual.** En visitas anteriores a la iniciación de este estudio se obtuvo evidencia de la localización temporal de la reproducción aparentemente coincidente con las épocas de lluvias (J.H. Restrepo, obs. pers.). Tanto el 3 de abril de 1987 como el 20 de agosto de 1989 (respectivamente, después de iniciarse la primera estación lluviosas y a comienzos de la segunda época de llu-

vias en el área) se observó gran actividad de la especie (respectivamente, 53 ejemplares, machos en combate, una postura y 42 ejemplares, algunos amplexus y una postura), lo cual contrasta con su casi total inactividad en periodos secos. En un transecto de aproximadamente 300 m, se encontraron solamente dos individuos de la especie el 11 de agosto de 1989, fecha en la que aún no se habían iniciado las lluvias. Con base en esta experiencia previa, los datos aquí presentados fueron obtenidos después de concentrar las observaciones en el primer período de alta pluviosidad del año 1994.

La presencia de machos territoriales se incrementó a partir del mes de febrero y continuó hasta finales de mayo (Figura 1). La actividad de hembras siguió un patrón similar, si bien en una mayoría de casos tuvimos que inferirla a partir de posturas nuevas, pues su comportamiento es inconspicuo y su presencia en cercanías de machos o en amplexus es un evento de difícil observación; durante los cuatro meses de la estación reproductiva, únicamente observamos seis hembras.

**Abundancia de machos.** Durante el tiempo de observación marcamos 30 machos. Algunos individuos presentaron mayor frecuencia de encuentro que los demás

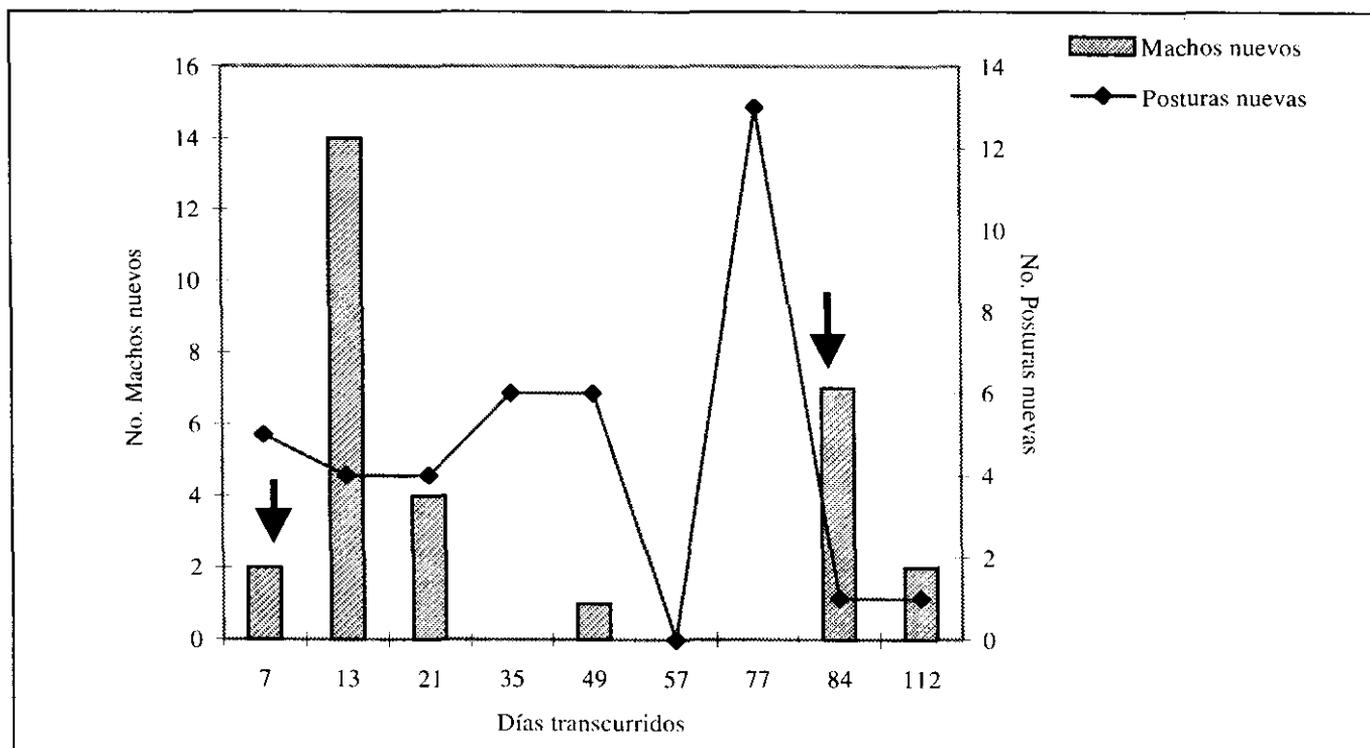


Figura 1. Indicadores de actividad reproductiva durante el estudio (las flechas indican el hallazgo de parejas amplexantes).

(Tabla 1), lo cual sugiere una marcada territorialidad de esta especie. Con base en las observaciones de la Tabla 1 obtuvimos una densidad de población de 1 macho cada 3.7 m lineales de quebrada, por lo cual deducimos que en los aproximados 400 metros de quebrada con cobertura idónea podrían existir aproximadamente 81 machos.

**Territorialidad y Selección de Hábitat.** Exceptuando algunos sectores con caídas de agua y barrancas rocosas, encontramos machos territoriales y posturas a lo largo de la totalidad del transecto, sobre ambas bandas de la quebrada. La fidelidad de machos a sus perchas se tomó como indicio de territorialidad, apoyada en la observación de encuentros agonísticos durante el estudio (Restrepo-T., 1996).

La localización de los machos marcados y de las posturas estuvo concentrada en los primeros 30 y últimos 20 m del transecto, por lo cual evaluamos la hipótesis de

selección de microhábitat por parte de machos y de hembras, asumiendo que la localización de las posturas refleja las "preferencias" habitacionales de estas últimas.

Un primer examen de la posible selección de hábitat consistió en la prueba de hipótesis nula de distribución uniforme tanto de machos como de posturas a lo largo de la quebrada. Para ello, realizamos pruebas no paramétricas de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1984), con base en los datos de distancia a lo largo de la quebrada, tomando como metro cero (0) el correspondiente a la toma del acueducto hasta los 115 m., longitud total del transecto.

Los resultados de estas pruebas no permiten rechazar la hipótesis nula para el caso de los machos ( $D_{\max} = 0.13630$ ;  $D_{0.05,30} = 0.24170$ ) ni el caso de los padres ( $D_{\max} = 0.16830$ ;  $D_{0.05,17} = 0.31796$ ), por lo que asumimos que los machos se distribuían uniformemente a lo largo de la quebrada.

Tabla 1. Ocurrencia de los machos territoriales durante el período de estudio.

Macho	FECHA (mes-día)										Frec.
	02-18	02-25	03-03	03-11	03-25	04-08	04-16	05-06	05-13	06-10	
01	*	-	X	X	X	X	-	X	X	-	7
02	*	X	X	X	-	X	-	X	X	-	7
05	/	*	-	X	-	-	-	X	X	-	4
06	/	*	-	-	-	X	-	X	-	-	3
07	/	*	-	-	-	-	-	X	-	-	2
08	/	*	-	X	-	X	-	X	X	-	5
10	/	*	-	-	-	-	-	-	-	-	1
11	/	*	-	-	-	X	-	X	X	-	4
12	/	*	-	-	-	-	-	X	X	-	3
13	/	*	-	-	X	-	-	X	-	-	3
15	/	*	X	X	-	X	-	X	X	-	6
16	/	*	X	X	-	-	-	-	-	-	3
17	/	*	X	X	-	-	-	-	-	-	3
18	/	*	X	-	-	-	-	-	X	-	3
20	/	*	-	-	-	-	-	X	X	-	3
21	/	*	-	-	-	X	-	X	X	-	4
26	/	/	*	X	-	X	-	-	X	-	4
27	/	/	*	X	-	-	-	X	X	-	4
28	/	/	*	X	-	X	-	X	-	-	4
29	/	/	*	-	-	-	-	-	X	-	2
40	/	/	/	/	*	X	-	X	X	-	4
49	/	/	/	/	/	/	/	*	X	-	2
50	/	/	/	/	/	/	/	*	-	-	1
52	/	/	/	/	/	/	/	*	-	-	1
53	/	/	/	/	/	/	/	*	/	-	1
58	/	/	/	/	/	/	/	*	-	-	1
59	/	/	/	/	/	/	/	*	-	-	1
64	/	/	/	/	/	/	/	*	-	-	1
70	/	/	/	/	/	/	/	/	*	-	1
71	/	/	/	/	/	/	/	/	*	-	1

\*= Primer Registro

X= Reencuentros

- = No observado

/ = Registros no realizados

Por otra parte, rechazamos la hipótesis de que las posturas se distribuyen uniformemente con un alto nivel de significancia ( $D_{\max} = 0.29020$ ;  $D_{0.05,40} = 0.21012$ ;  $0.01 < P < 0.02$ ). Para determinar a que tipo de distribución espacial se ajustaban estos datos, examinamos los cambios de la varianza del número de posturas en bloques de quebrada de diferente tamaño, calculándola por el método de cuadrados locales de dos términos (TTQLV, Ludwig & Reynolds, 1988). Pudimos establecer que las posturas presentaban un patrón contagioso, pues la varianza de su número para bloques de diferente longitud de quebrada presentó dos picos (Figura 2), resultado acorde con las inferencias previas, ya que si los machos son territoriales, era de esperar que las posturas estuvieran reunidas en ciertas partes de la quebrada, correspondientes a los territorios de los padres. Vale la pena recordar que no todos los machos obtuvieron posturas.

Para examinar la influencia de variables estructurales del hábitat que pudieran tener algún papel en la selección de hábitat reproductivo, basamos la obtención de datos primariamente en las posturas (Tabla 2). De los machos únicamente tomamos la distancia lineal sobre la quebrada, altura estimada sobre el piso y la banda. Las diferencias en la topografía de las orillas (la banda derecha de la quebrada era aparentemente menos empinada que la izquierda, lo cual podría eventualmente determinar diferencias en la fisonomía y la estructura de la vegetación), sugirieron otra posible vía de selección de hábitat. Analizamos las diferentes variables con base en

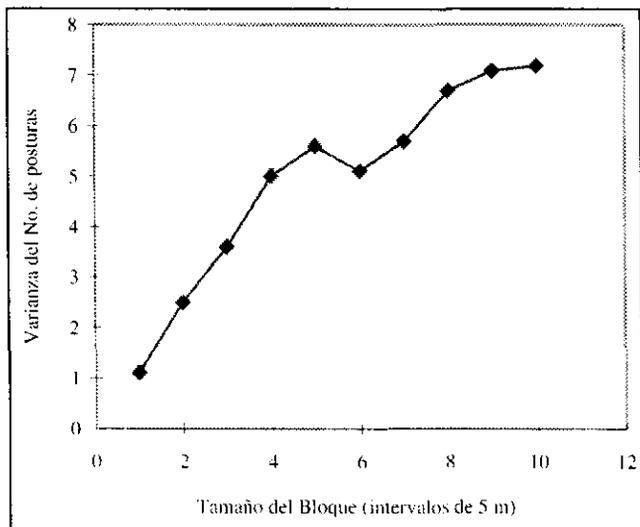


Figura 2. Determinación gráfica del patrón de distribución espacial de las posturas por el método de los cuadrados locales (TTQLV).

la situación de las posturas respecto a la quebrada. Por ser dos grupos realizamos la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para examinar la hipótesis nula de valores medios no diferentes. La ausencia de resultados significativos sugiere una pobre selección de los sitios de despliegue de los machos y de oviposición de las hembras, si bien la diferencia en el número absoluto de machos y de posturas (derecha vs. izquierda, respectivamente, 20 vs. 10 y 27 vs. 13), podría sugerir una tendencia que los datos de esta investigación no pueden esclarecer.

**Éxito Reproductivo.** Con el fin de examinar si existía un éxito diferencial de la hembra según el macho elegido o según el sistema de apareamiento, hicimos pruebas no paramétricas de Mann-Whitney comparando el número de huevos por posturas parasitadas y exitosas en el primer caso y la diferencia de huevos entre las posturas de los machos monógamos y polígamos en el segundo. Los resultados,  $P(|z| > 0.495) = 0.621$ , permiten afirmar que no existen diferencias significativas entre las medias de los grupos tratados en el primer caso ( $n_1 = 17$ , media = 17.62 DS = 2.3, RANGO 12-22;  $n_2 = 18$ , media = 18.2 DS = 2.3, RANGO 13-23). En el caso de los padres monógamos y polígamos,  $P(|z| > -1.22) = 0.220$ , también se debe asumir que no existen diferencias significativas entre las medias de los grupos en cuestión ( $n_1 = 5$ , media = 16.4 D.S = 2.5 RANGO 12-18;  $n_2 = 30$ , media = 18.2 D.S = 2.2 RANGO 13-23).

Aunque el número total de posturas fue 40, realizamos las dos pruebas anteriores con  $N = 35$  debido a que a dos posturas totalmente parasitadas y destruidas no fue posible realizarles el conteo pertinente. Los tres casos faltantes corresponden a conteos muy bajos debido a que los renacuajos ya estaban eclosionados (conteos 4, 5, 8).

En cuanto a las causas de fracaso de las posturas, identificamos únicamente la depredación y el parasitismo, to-

Tabla 2. Características de hábitat asociadas a las posturas incluidas en el muestreo (Media  $\pm$  1 D.S.; excepto el número de capas y la cobertura, todas las variables en centímetros).

VARIABLE	BANDA IZQUIERDA (n = 14)	BANDA DERECHA (n = 26)
Distancia horizontal al agua	6.4 + 13.4	11.4 + 19.0
Altura sobre el agua	101.7 + 31.8	111.8 + 42.6
Número de capas <sup>1</sup>	1.1 + 1.7	1.2 + 1.2
Altura de la última capa	72.5 + 39.5	73.0 + 54.4
Profundidad	6.4 + 4.6	9.8 + 7.6
Porcentaje de Cobertura	74.2 + 1.5	74.8 + 2.3

<sup>1</sup> Ver metodología para explicación de esta variable

mando como éxito únicamente la eclosión de los huevos. El parasitismo constituyó la causa principal de fracaso, pues de 40 posturas estudiadas, la mitad fueron afectadas por este fenómeno. Puesto que el examen preliminar de los datos sugería que el éxito de las posturas no estuvo repartido de manera homogénea a lo largo de la quebrada, examinamos la distribución de las posturas parasitadas y exitosas en relación con las bandas de la quebrada mediante una prueba de  $\chi^2$ . Las probabilidades resultantes de este análisis fueron superiores al 50% sin factor de corrección y un poco más de 74% con el factor de corrección de continuidad ( $\chi^2_{0.05,1} = 3.841$ ) y por lo cual no rechazamos la hipótesis nula de la ocurrencia aleatoria del parasitismo con respecto a las bandas de la quebrada. Adicionalmente, para determinar si las posturas parasitadas seguían un patrón de normalidad, examinamos la distribución longitudinal de tales posturas mediante una prueba de Kolmogorov-Smirnov, teniendo como hipótesis nula la distribución uniforme a lo largo de la quebrada. El resultado de esta prueba mostró que no era posible rechazar tal hipótesis. ( $D_{\max} = 0.23260$ ;  $D_{0.05,20} = 0.29408$ ).

Para examinar la influencia de variables estructurales del hábitat que pudieran tener algún ascendiente sobre el éxito de eclosión, comparamos las medias de cada una entre las posturas exitosas y las fallidas (Tabla 3) mediante una prueba de Mann-Whitney. Ninguna de las medias de las distintas variables examinadas difieren estadísticamente ( $Z > 0.2$  en todos los casos), por lo que asumimos uniformidad estructural en el hábitat entre las posturas exitosas y fallidas.

Durante el trabajo de campo localizamos 40 posturas, a las cuales hicimos seguimiento de su desarrollo desde el encuentro hasta la eclosión o fracaso y a todas ellas nos fue posible asignarle un "padre". Así, de los 30 machos registrados, el 56.6% (17) se consideran como padres, al menos de una postura, lo que significa una acumulación del éxito de apareamiento en apenas una fracción de los machos estudiados (Figura 3).

Detectamos igualmente una concentración mayor de machos en la banda derecha (66.7% de los registros) que en la izquierda: de los 17 identificados como "padres", 12 (70.6%) estuvo en dicha banda y lo mismo sucedió

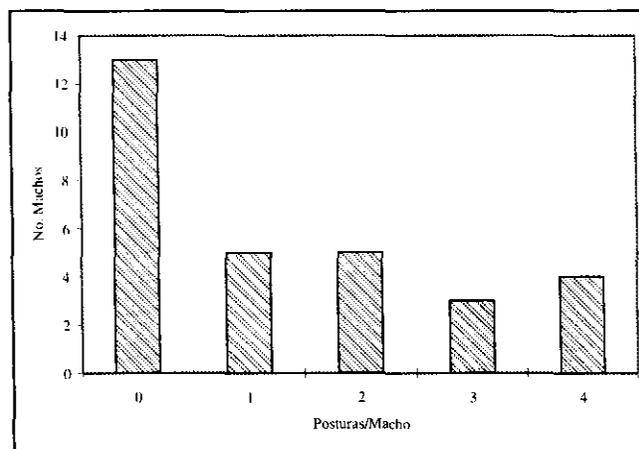


Figura 3. Distribución del éxito de apareamiento de los machos.

Tabla 3. Comparación de las variables de hábitat de las posturas parasitadas vs. las no parasitadas (excepto el número de capas y la cobertura, todas las variables en centímetros).

VARIABLE	Posturas Parasitadas (n = 20)			Posturas no Parasitadas (n = 20)		
	Media	D.S.	Rango	Media	D.S.	Rango
Distancia horizontal al agua	9.3	15.7	0-46	10.1	19.1	0-80
Altura sobre el agua	102.9	38.1	48-190.5	113.6	40.2	56.5-180
Número de capas <sup>1</sup>	1.3	1.5	0-4	1.1	1.2	0-4
Altura de la última capa	65.1	51.5	4-190.5	80.5	46.7	7-180
Profundidad	9.4	6.5	1-23	7.6	7.3	0.5-30
Porcentaje de Cobertura	74.5	1.9	71.2-78.6	74.7	2.2	69.8-80.3

<sup>1</sup> Ver metodología para explicación de esta variable

con los "célibes" pues 8 de ellos (61.5%) correspondieron al mismo margen de la quebrada. Un número reducido de los machos exitosos obtuvo el mayor número de hembras (Tabla 4).

En razón de dichos sesgos de los datos de campo, sometimos a prueba la hipótesis de una concentración espacial de la poliginia mediante una prueba de  $\chi^2$ . Dicha prueba, en principio, consistió en el examen de la distribución de los machos monógamos y los poligínicos en razón de la orilla de la quebrada. Las probabilidades resultantes de este análisis fueron superiores al 58% sin factor de corrección y un poco más de 97% con el factor de corrección de continuidad, por lo cual asumimos la no existencia de relaciones ( $\chi^2_{0.05,1} = 3.841$ ).

Buscando una explicación para el éxito diferencial de apareamiento de los machos identificados como pa-

**Tabla 4.** Éxito de apareamiento de los machos según el número de posturas presentes en los territorios.

No. posturas/territorio	Posturas por banda		
	No. machos	Derecha	Izquierda
0	13	0	0
1	5	4	1
2	5	5	5
3	3	3	6
4	4	15	1

dres, confrontamos las medias de cada una de las variables de hábitat asociadas con machos monógamos vs. las de los poligínicos (Tabla 5), mediante una prueba de Mann-Whitney. En todos los casos obtuvimos probabilidades de  $Z > 0.2$ , por lo que aceptamos que no existían diferencias estadísticas de las medias de las diferentes variables entre los territorios de machos monógamos y poligínicos.

## Discusión

**El ciclo anual.** La cronología de los eventos reproductivos en *C. ignota*, corresponde a una estrategia de reproducción prolongada según los criterios esbozados por Arak (1983). Según este autor, la extensión del lapso reproductivo tiene dos consecuencias principales. Primero, determina la densidad de machos en el sitio de reproducción, siendo la densidad de machos frecuentemente mucho mayor en reproductores explosivos que en prolongados. La densidad de los reproductores prolongados es baja debido a que la aparición de los individuos en el sitio de reproducción es escalonada en el tiempo (ambas condiciones se cumplen en *C. ignota*). En segundo lugar, mientras la llegada de las hembras al sitio de reproducción es notablemente sincrónica en las especies con reproducción explosiva, en las especies con extensos períodos reproductivos es asincrónica y espaciada durante la estación reproductiva, lo cual de nuevo es evidente en *C. ignota*.

**Tabla 5.** Estadísticas de las variables de hábitat de los territorios de machos monógamos vs. machos poligínicos (excepto el número de capas y la cobertura, todas las variables en centímetros).

VARIABLE	Machos Monógamos (n = 5)			Machos Poligínicos (n = 12)		
	Media	D.S.	Rango	Media	D.S.	Rango
Distancia horizontal al agua	10.5	12.7	0-40.2	2.3	5.1	0-11.5
Altura sobre el agua	109.7	23.4	69.6-154.5	109.3	32.1	85.7-164
Número de capas <sup>1</sup>	1.4	1.1	0-4	1	1.7	0-4
Altura de la última capa	73.7	32.7	10-119.3	82.5	12.2	70-98.5
Profundidad	9.7	6.1	2.4-23	8.6	6.5	1-16.5
Porcentaje de Cobertura	74.6	1.4	72.8-77.5	74.9	3.3	71.9-80.3

<sup>1</sup> Ver metodología para explicación de esta variable

**Abundancia de machos.** En una primera aproximación para estimar el tamaño de la población *C. ignota* con base en los machos, obtuvimos estimativos en un rango de 12.5 a 31.2 por cada 115 metros (108.7 - 271.3 machos por kilómetro) entre pares de muestreos consecutivos. En principio estos estimativos estaban muy por encima de los reportados por **Villa (1984)** para *Hyalinobatrachium fleischmanni*, el cual encontró entre 1 y 42.3 individuos por kilómetro de quebrada. Sin embargo, al revisar los datos presentados por **Jacobson (1985)**, fueron notablemente bajos, ya que se registraron en un transecto de 80 metros, 536 individuos (376 machos) de *H. fleischmanni* (4700 machos por kilómetro) y 353 individuos (257 machos) *Centrolene prosoblepon* (3213 machos por kilómetro). No obstante esta marcada diferencia, un buen número de estos machos solo fue registrado una vez (65% *H. fleischmanni*), lo cual contrasta con lo obtenido en la presente investigación, donde el 30% de los machos nunca fue recapturado y es un poco menor con respecto a la otra especie (37% *C. prosoblepon*). Por otro lado, es importante resaltar que la densidad de machos progenitores en el presente estudio (0.09 padres/m<sup>2</sup>) resultó comparable con aquellas derivables a partir de los datos de **Jacobson (1985)**: 0.08 padres/m<sup>2</sup> para *H. fleischmanni* y 0.05 padres/m<sup>2</sup> para *C. prosoblepon* y corresponde, como ya se dijo, a una estrategia de reproducción prolongada (**Arak, 1983**).

**Territorialidad y Selección de Hábitat.** Es idea comúnmente aceptada que los machos de la familia Centrolenidae son territoriales (e.g. **McDiarmid, 1975**, **Rueda-A., 1994**). Sin embargo, ninguno de estos autores sustentaron su idea con datos provenientes de investigación, limitando su inferencia a una reseña de tal comportamiento. Por ejemplo **Rueda-A. (1994)**, en un trabajo de índole principalmente anatómica y sistemática, menciona que "los machos de *Centrolene geckoideum* exhiben una marcada territorialidad y al parecer son los que seleccionan y defienden los sitios de oviposición". El mismo autor concluye afirmando que puesto que los machos utilizan los mismos sitios en noches sucesivas y las posturas estaban siendo cuidadas por los machos, se podría pensar en la posibilidad de que los machos adultos defiendan ciertos lugares que ofrecen excelentes condiciones para la supervivencia de las posturas.

En su estudio comparativo de dos especies de centrolénidos, *H. fleischmanni* y *C. prosoblepon* en un bosque húmedo montano bajo de Costa Rica, **Jacobson (1985)** marcó la quebrada cada 2 metros en ambas bandas y registró el encuentro de los individuos. Sin embargo no realizó una prueba que determinara el territoria-

lismo (e.g. distribución espacial uniforme) aunque registró siete combates para cada especie.

La fidelidad de los machos de *C. ignota* a sus perchas de despliegue resultó comparable al de *H. fleischmanni* (**Jacobson, 1985**), ya que durante las jornadas de búsqueda y recaptura observamos un escaso desplazamiento de los machos con respecto al sitio en que previamente los habíamos registrado. Así, y aunque los datos pertinentes no fueron analizados estadísticamente por pérdida de las marcas, solamente un individuo se desplazó más de 2 metros del sitio original, mientras que los restantes desplazamientos fluctuaron entre 0 y 0.4 metros. Esta marcada filopatria, junto con las observaciones de encuentros agonísticos entre machos (**Restrepo-T., 1996**) y la detección del patrón de distribución longitudinal de los mismos a lo largo de la quebrada, puede tomarse como evidencia de territorialidad para *C. ignota*. Según **Elliot (1983)** el comportamiento territorial generalmente producirá una distribución espacial uniforme de los individuos, cual es el caso para el presente estudio.

Por otra parte, de las dos pruebas de Kolmogorov-Smirnov para el examen de la uniformidad espacial en la distribución de machos y progenitores, aparte de la conclusión de territorialidad, también se puede inferir la existencia de los machos "satélites". Estos individuos, careciendo de un territorio estable, permanecen cerca a los machos territoriales y eventualmente pueden aprovechar una oportunidad para aparearse con una hembra atraída por el macho territorial o en el caso fortuito que el dueño del territorio se agote defendiéndolo o si desaparece totalmente, apropiarse de él (**Arak, 1983**).

Al confrontar los datos de **Jacobson (1985)** de machos totales contra "padres" de las respectivas especies tratadas por esta autora, nos encontramos con una singularidad: de los 376 machos de *H. fleischmanni*, únicamente fueron padres 39 (10.4%); de los 257 machos de *C. prosoblepon*, 23 (8.9%), contrastando estos datos con los de *C. ignota*, donde el 17 machos (56.7%) fueron progenitores. Por lo tanto, se debe asumir que las otras dos especies también presentan, y en alta proporción, los machos satélites.

Por otra parte, la demostración de una distribución espacial no uniforme de las posturas a lo largo de la quebrada, distribución que posteriormente, y por medio de TTQLV, se ratificó como agrupada (Figura 2), es congruente con las pruebas anteriores ya que si los padres tienen distribución espacial uniforme, es decir, territorial, las posturas van a estar agrupadas en relación con la distribución de sus respectivos padres.

**Exito reproductivo.** En su trabajo seminal sobre la historia natural de *H. fleischmanni*, **Villa** (1984) presentó evidencia de una amplia variación en el tamaño de la postura para tres especies de esta familia y aún dentro de una sola especie. Por comparación, la escasa variación encontrada en el presente trabajo resulta notable y sugiere una inversión energética constante por parte de las hembras, probablemente inducida por la homogeneidad en las condiciones de los sitios de oviposición que se discutirán más adelante y que, de otro lado, puede estar constreñido por limitaciones fisiológicas debidas al reducido tamaño de las ranas adultas como lo señalan **Duellman & Trueb** (1986). De cualquier manera y también de acuerdo con lo sugerido por **Villa** (1984) para *H. fleischmanni*, dentro de las especies de Centrolenidae para las cuales se conocen detalles acerca de su historia natural, *C. ignota* presenta una clara tendencia hacia la estrategia K de reproducción.

Para interpretar la estrategia de apareamiento de *C. ignota* en relación con los modelos teóricos vigentes, conviene recapitular las características conductuales y ecológicas de la especie, y en particular aquellas asociadas a los machos: a) *C. ignota* es una especie con periodo reproductivo extenso, b) algunos padres obtienen mas hembras que otros, c) un buen porcentaje de los machos disponibles no obtuvieron hembras d) las variables de los sitios de posturas pertenecientes a cada padre no presentaron diferencias entre los monógamos y los polígamos, e) aparentemente los machos no realizan ningún tipo de cuidado de las posturas, f) tanto los machos como el subconjunto "padres" presentan una distribución espacial regular y g) la relación de sexos, de los individuos encontrados durante el estudio, está sesgada a favor de los machos (muchos machos, pocas hembras).

El hecho que algunos machos obtuvieran mas hembras que otros, hace necesario el examen del sistema de apareamiento de la especie en relación con los diferentes modelos de la poliginia. El modelo de umbral de la poliginia (**Orians**, 1969), y por extensión, el de defensa de recursos (**Halliday**, 1981), pueden descartarse de plano, ya que los datos allegados permiten afirmar fehacientemente que no existen diferencias entre las variables de hábitat examinadas. Puesto que en esta especie las hembras no permanecen en el territorio de los machos después de la oviposición, puede igualmente descartarse el modelo de poliginia de defensa de hembras (**Halliday**, 1981). En cuanto al modelo del hijo sexy (**Weatherhead & Robertson**, 1979, 1981), no resulta evaluable en la presente situación, puesto que no se caracterizaron ni el fenotipo ni el comportamiento de despliegue de los machos.

Además de la ausencia de diferencias en las variables estructurales de hábitat entre machos monógamos y poliginicos antes mencionada, el patrón agregado de los machos de *C. ignota* a lo largo de la quebrada y su espaciamiento regular al interior de cada una de las concentraciones de machos, sugieren que el sistema de apareamiento de la especie sea de tipo Lek. Por otra parte, de acuerdo con la definición original de Lek de **Emlen & Oring** (1977) y como lo demostró **Howard** (1978, citado por **Duellman & Trueb**, 1986) al analizar un posible caso de este sistema propuesto para *Rana catesbeiana* por **Emlen** (1976, citado por **Duellman & Trueb**, 1986), la situación presentada por *C. ignota* no correspondería completamente a un Lek, en razón del control, por parte de los machos, de los sitios de oviposición de las hembras. Sin embargo, teniendo en cuenta que estas ranas depositan sus huevos durante el amplexo y puesto que las características de los sitios de oviposición son irrelevantes al éxito de las posturas, es aún concebible la ocurrencia de un sistema Lek en Centrolenidae, con la salvedad hecha de sus diferencias con respecto a los casos clásicos reportados para aves y mamíferos en la literatura (e. g. Fecundación externa vs. Fecundación interna).

Hasta la fecha, para la familia Centrolenidae solamente se ha registrado la poliginia de defensa de recursos (e. g. **Greer & Wells**, 1980; **Jacobson**, 1985; **McDiarmid**, 1975; **McDiarmid & Adler**, 1974). El hallazgo del sistema Lek de apareamiento en *C. ignota* resulta notable, pues además de representar el primer informe de tal comportamiento en la familia Centrolenidae, plantea un interesante interrogante filogenético. **Lynch et al.** (1983) consideran que el comportamiento de vigilia de la familia Centrolenidae corresponde a una sinapomorfia, por lo cual podría pensarse que el caso de *C. ignota* represente una situación primitiva. No obstante, es mas plausible que se trate en realidad de una homoplasia (regresión a la plesiomorfia) puesto que, a partir de la información presentada por **Duellman & Trueb** (1986), este sería el primer caso de Lek documentado para el Orden Anura.

### Agradecimientos

Numerosas personas contribuyeron a que este trabajo llegara a buen término. En particular, agradecemos a Carlos de la Torre por facilitar las instalaciones de su finca, a Rosa Mary de Ayala, Felipe Estela, Luz Angela García y Berta Giraldo por su compañía y ayuda en la recolección de datos en el campo y a Carmen Cecilia Rivera, por su apoyo y paciencia en etapas difíciles. J. H. Restrepo agradece muy especialmente a Hernando

Sarria y Lilian Toro, que adicionalmente a su cariño le han brindado refugio y alimento durante largas temporadas y a Marina Toro, que con su amor de madre, su paciencia y su apoyo ha logrado mantener e incentivar su interés por el estudio. Este trabajo fue realizado como parte de la tesis de grado de J.H. Restrepo para optar al título de Magister en Ciencias en la Universidad del Valle.

### Literatura Citada

- Arak, A.** 1983. Male - male competition and mate choice in anuran amphibians. pp. 181-210. In: Bateson, P. (ed.): *Mate Choice*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Crump, M. L.** 1974. Reproductive strategies in a tropical anuran community. *Univ. Kansas Mus. Nat. Hist. Misc. Publ.* (61): 1-68.
- Duellman, W. E.** 1992. Estrategias reproductoras de las ranas. *Investigación y Ciencia* (192): 54-62.
- Duellman, W. E. & A. H. Savitzky.** 1976. Aggressive behavior in a Centrolenid frog, with comments on territoriality in Anurans. *Herpetologica* **32**: 401-404.
- Duellman, W. E. & L. Trueb.** 1986. *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill, Inc.: New York.
- Elliot,** 1983. Some Methods for the Statistical Analysis of Samples of Benthic Invertebrates. 2 edición. *Freshwater Biol. Assoc., Scient. Public.* (25): 1-157.
- Emlen, S. T.** 1976. Lek organization and mating strategy in the bullfrog. *Behav. Ecol. Sociobiol.* **1**: 283-313.
- Emlen, S. T. & L. W. Oring.** 1977. Ecology, sexual selection, and the evolution of mating systems. *Science* **197**: 215-223.
- Ferner, J. W.** 1979. A review of marking techniques for amphibians and reptiles. *Herpetological Circular* (9): i-vi + 1-41.
- Greer, B. J. & K. D. Wells.** 1980. Territorial and Reproductive Behavior of the Tropical American Frog *Centrolenella fleischmanni*. *Herpetologica* **36**: 318-326.
- Halliday, T. R.** 1981. Sexual Selection and Mate Choice. pp. 180-213. In: Krebs J. R. & N. B. Davies (eds.): *Behavioural Ecology. An Evolutionary Approach*. Sinauer Associates, Inc.: Sunderland, Massachusetts.
- Hintze, J. L.** 1987. *Number Cruncher Statistical System (NCSS)*. Kaysville, Utah.
- Howard, R. D.** 1978. The evolution of mating strategies in bullfrog, *Rana catesbeiana*. *Evolution* **32**: 850-871.
- IGAC** (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1977. *Mapa Ecológico*. Bogotá.
- Jacobson, S. K.** 1985. Reproductive behavior and male mating success in two species of Glass Frogs (Centrolenidae). *Herpetologica* **41**: 396-404.
- Ludwig, J. A. & J. F. Reynolds.** 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Wiley & Sons: New York.
- Lynch, J. D.** 1979. The amphibians of the lowland tropical forest. pp. 189-215. In: Duellman, W. E. (ed.): *The South American Herpetofauna: Its Origin, Evolution, and Dispersal*. *Monogr. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas* (7): 1-485.
- Lynch, J. D., P. M. Ruiz-C & J. V. Rueda-A.** 1983. Notes on the distribution and reproduction biology of *Centrolene geckoideum* Jiménez de la Espada in Colombia and Ecuador (Amphibia: Centrolenidae). *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* (18): 239-243.
- McDiarmid, R. K.** 1975. Glass frog romance along a tropical stream. *Terra*. Los Angeles County Museum **13**: 14-18.
- McDiarmid, R. K. & K. Adler.** 1974. Notes on territorial and vocal behavior of neotropical frogs of the genus *Centrolenella*. *Herpetologica* **30**: 75-78.
- Orians, G. H.** 1969. On the evolution of mating systems in birds and mammals. *Amer. Natur.* **103**: 589-603.
- Rueda - A., J. V.** 1994. Estudio anatómico y relaciones sistemáticas de *Centrolene geckoideum* (Salientia: Anura: Centrolenidae). *Trianca* **5**: 133-187.
- Ruiz-C., P. M. & J. D. Lynch.** 1991. Ranas Centrolenidas de Colombia. I. Propuesta de una nueva clasificación genérica. *Lozania* (57): 1-30.
- Villa, J.** 1984. *Biology of a Neotropical Glass Frog, Centrolenella fleischmanni* (Boettger), with special reference to its frogfly associates. *Milwaukee Public Mus. Contrib. Biol. Geol.* (55): 1-60.
- Weatherhead, P. J. & R. J. Robertson.** 1979. Offspring quality and the polygyny threshold: "the sexy son hypothesis". *Amer. Natur.* **113**: 201-208.
- Weatherhead, P. J. & R. J. Robertson.** 1981. In defense of the "sexy-son" hypothesis. *Amer. Natur.* **117**: 349-356.
- Zar, J. H.** 1984. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.

# EL BILLAR DE SINAI CLÁSICO

por

Santiago Andrés Triana<sup>1,2</sup> & Diógenes Campos<sup>1,3</sup>

## Resumen

S. A. Triana & D. Campos: El Billar de Sinai Clásico. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(86): 61-71. 1999. ISSN 0370-3908.

Desarrollamos aquí un algoritmo para realizar experimentos numéricos con el billar de Sinai en su versión clásica, junto con una breve discusión de la precisión y limitaciones de tal algoritmo. Algunos resultados de estos experimentos se presentan revelando un comportamiento altamente caótico.

**Palabras claves:** Sistemas caóticos, billares, ergodicidad.

## Abstract

An algorithm to perform numerical experiments on the Sinai billiard (classical version) is developed and a brief discussion concerning its accuracy and limitations is included. Some results of these experiments are presented revealing a highly chaotic behaviour.

**Key words:** Chaotic systems, billiards, ergodicity

## 1. Introducción

En los últimos años la investigación de sistemas caóticos ha sido de gran importancia en diferentes áreas de la ciencia y de la técnica (Mullin, 1995). En el caso de la física, los sistemas mecánicos (clásicos y cuánticos) de pocos grados de libertad han sido objeto de estudio, observándose en ellos propiedades y comportamientos dinámicos inesperados (Blümel y Reinhardt, 1997). Algunas propiedades, que se creían exclusivas de sistemas de muchas partículas, por

ejemplo el comportamiento ergódico, han aparecido en sistemas de pocos grados de libertad.

En este artículo estudiamos a la luz de la mecánica clásica el billar de Sinai (Sinai, 1979), el cual es un sistema relativamente simple que presenta un comportamiento fuertemente caótico. El sistema consiste en una partícula que se mueve en el plano dentro de un cuadrado (arista  $L$ ), en cuyo centro se coloca un obstáculo circular (radio  $R$ ), tal como se muestra en la figura 1. Se supone que la partícula (masa  $m$ ) obedece las leyes de la mecánica clásica y sólo experimenta colisiones elásticas contra las paredes del cuadrado y contra el perímetro del obstáculo circular. Esto es, entre colisiones la partícula se mueve de manera libre siguiendo una trayectoria rectilínea.

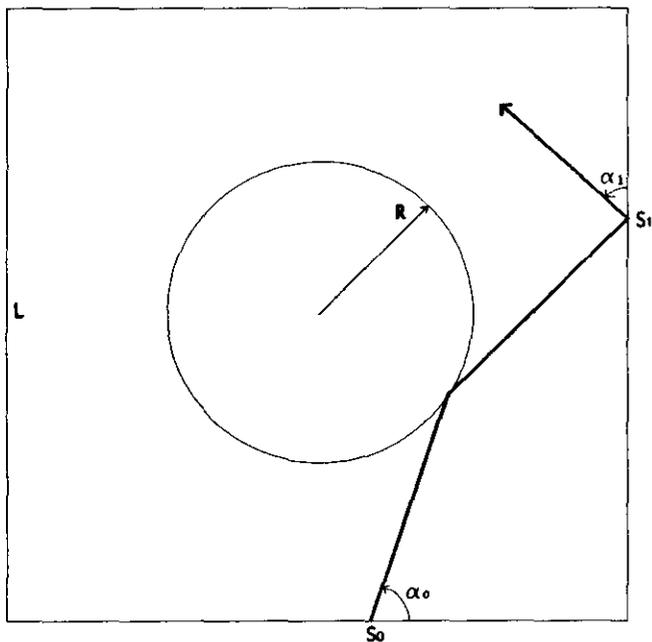
1 Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

2 E-mail: atriana@ciencias.ciencias.unal.edu.co.

3 E-mail: dcamposr@ciencias.ciencias.unal.edu.co.

### Elección de variables

Las colisiones de la partícula contra las paredes del cuadrado las enumeramos de manera consecutiva mediante el índice  $n$  que toma valores enteros,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ . En cada colisión (digamos, la  $n$ ) se especifican dos variables, a saber: la posición del punto donde tiene lugar la colisión (variable  $s_n$ ) y el ángulo que la dirección del movimiento forma con la pared inmediatamente después de la colisión (ángulo  $\alpha_n$ ). La posición  $s_n$  la identificamos con la distancia a lo largo del perímetro medida a partir de la esquina inferior izquierda del cuadrado.



**Figura 1.** El billar de Sinai está conformado por un cuadrado y un obstáculo circular en su centro. La partícula se mueve clásicamente experimentando sólo colisiones elásticas.

### Planteamiento del problema

En el instante de tiempo inicial la partícula está en el estado  $(s_0, \alpha_0)$ , esto es, la partícula experimenta una colisión con la pared inferior en el punto  $s_0$  y emerge de la colisión formando un ángulo  $\alpha_0$ , tal como se muestra en la figura 1. Conociendo  $(s_0, \alpha_0)$  queremos predecir el estado  $(s_1, \alpha_1)$  que corresponde a la siguiente colisión de la partícula contra una pared del cuadrado, posiblemente después de haber rebotado en el objeto circular -la existencia de una colisión entre la partícula y el disco central depende de los valores  $(s_0, \alpha_0)$  y del radio  $R$  del disco-. Una vez determinado  $(s_1, \alpha_1)$  queremos en la siguiente etapa predecir el estado  $(s_2, \alpha_2)$  y así

sucesivamente. En general, queremos determinar una aplicación (en inglés *mapping*) que permita calcular el estado  $(s_n, \alpha_n)$  de la partícula en la  $n$ -ésima colisión, a partir del conocimiento del estado  $(s_{n-1}, \alpha_{n-1})$  correspondiente a la colisión  $n-1$ . En otras palabras, tenemos como propósito en este artículo encontrar la función  $F$  que permite establecer la siguiente relación:

$$(s_n, \alpha_n) = F(s_{n-1}, \alpha_{n-1}).$$

Es claro que esta función  $F$  será diferente para obstáculos centrales diferentes, y en particular dependerá explícitamente del radio del disco central.

## 2. Construcción del Algoritmo

Consideremos en primer lugar el billar en ausencia del disco central (figura 2). La partícula en este caso rebotará siempre con los mismos ángulos y los mismos lugares en cada lado. Tomando el cuadrado de lado  $L=1$  y el disco con  $R=1/4$  y dada una condición inicial es fácil entonces conocer  $s_n$  y  $\alpha_n$  de la siguiente forma: (nos desviaremos temporalmente aquí de la forma habitual de medir los ángulos en problemas de billares: por comodidad de cálculo los ángulos  $\alpha_i$  serán medidos de manera absoluta en el sentido directo desde el eje  $x$  positivo).

- Se halla la ecuación de la recta  $y = m x + b$  que corresponde a la trayectoria descrita por la partícula con condiciones iniciales  $(s_0, \alpha_0)$ , a través de  $m = \tan \alpha_0$  y de  $b = -m s_0$ , asumiendo que  $s_0$  se encuentra en el lado horizontal inferior (parte entera de  $s_0$  igual a cero:  $\text{int } s_0 = 0$ ).
- Si  $\alpha_0 < \pi/2$ , el punto de rebote  $s_1$  se encuentra calculando el valor de  $x$  para el cual  $y=1$  y luego el valor de  $y$  para el cual  $x=1$  en la ecuación de la recta (denotados  $x'$  y  $y'$  respectivamente). Sólo uno de estos dos valores pertenecerá al intervalo abierto  $(0,1)$  y corresponderá precisamente al punto de rebote de la partícula con uno de los lados del billar. Si es  $y'$  quien pertenece al intervalo  $(0,1)$  entonces las coordenadas del punto de rebote son  $(1, y')$  y podemos escribir  $s_1 = 1 + y'$  (recuérdese que  $s_i$  se mide a lo largo del perímetro del cuadrado) y también  $\alpha_1 = \pi - \alpha_0$ . Si  $x'$  es quien pertenece al intervalo  $(0,1)$  entonces las coordenadas del punto de rebote serán  $(x', 1)$  y por consiguiente  $s_1 = 3 - x'$ , en cuanto al ángulo éste será  $\alpha_1 = 2\pi - \alpha_0$ .

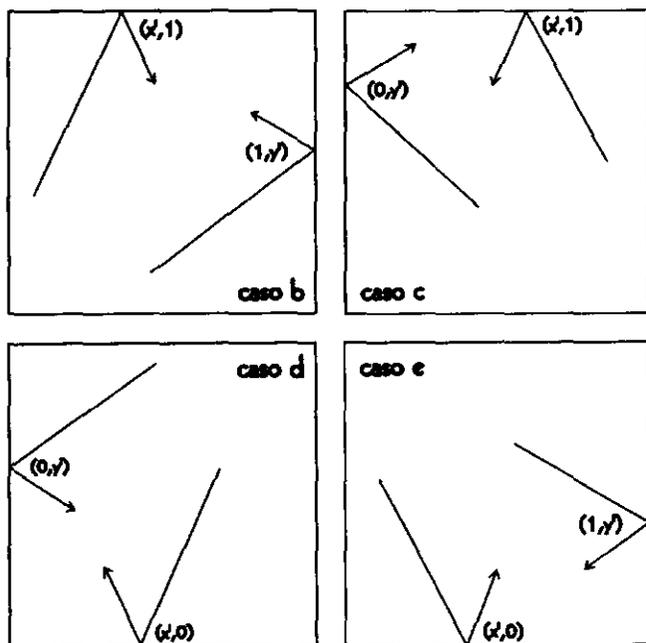


Figura 2. Determinación del punto de colisión de la partícula con las paredes del cuadrado en el caso en el que el objeto circular está ausente en el billar de Sinai.

- c. Si  $\pi/2 < \alpha_0 < \pi$  el punto de rebote se calcula de manera completamente análoga excepto que ahora se hace  $y=1$  y  $x=0$  en la ecuación de la recta. Con los dos valores obtenidos  $x'$ ,  $y'$  se realiza el mismo análisis: si  $0 < y' < 1$  entonces  $s_1=4-y'$ ,  $\alpha_1=\pi-\alpha_0$ . Si  $0 < x' < 1$  entonces  $s_1=3-x'$ ,  $\alpha_1=2\pi-\alpha_0$ .
- d. Si  $\pi < \alpha_0 < 3\pi/2$  (caso posible cuando la partícula proviene del lado vertical derecho ó del lado horizontal superior) se hace en la ecuación de la recta  $y=0$  y  $x=0$ . Se obtienen así los dos valores  $y'$  y  $x'$ . Si  $0 < y' < 1$  entonces  $s_1=4-y'$ ,  $\alpha_1=\pi-\alpha_0$ . Si  $0 < x' < 1$  entonces  $s_1=x'$ ,  $\alpha_1=2\pi-\alpha_0$ .
- e. Si  $3\pi/2 < \alpha_0 < 2\pi$  (la partícula proviene del lado vertical izquierdo ó del horizontal superior) se hace  $y=0$  y  $x=1$  obteniéndose  $y'$  y  $x'$ . Si  $0 < x' < 1$  entonces  $s_1=x'$ ,  $\alpha_1=2\pi-\alpha_0$ . Si  $0 < y' < 1$  entonces  $s_1=1+y'$ ,  $\alpha_1=\pi-\alpha_0$ .
- f. Se calcula una nueva ecuación de la recta a través de  $m=\tan \alpha_1$  y de  $b=-ms_1$  (si es un rebote sobre la banda horizontal inferior, esto es,  $\text{int } s_1=0$ ). Si se trata de un rebote sobre la banda vertical derecha ( $\text{int } s_1=1$ ) el parámetro  $b$  se calcula por medio de  $b=s_1-1-m$ . Si es un rebote sobre la banda horizontal superior ( $\text{int } s_1=2$ ) entonces  $b=1-m(3-s_1)$ . Si es un rebote sobre la banda vertical izquierda ( $\text{int } s_1=3$ ) entonces  $b=4-s_1$ .

Finalmente de regreso al paso b, reemplazando  $(s_0, \alpha_0)$  por  $(s_1, \alpha_1)$  y así sucesivamente hasta el valor de  $n$  que se desee.

Ahora sólo resta introducir el disco central en el billar. Para esto es necesario encontrar la función  $F$  de las variables  $(s_k, \alpha_k)$  que arroje como resultado el par de valores  $(s_{k+1}, \alpha_{k+1})$  asociados a un rebote con uno de los lados del billar luego de un rebote con el disco central si tuviese lugar.

Con el propósito de construir tal función primero debe calcularse el diámetro angular aparente ( $2\omega$ ) del disco y el ángulo central ( $\beta$ ) para algún valor dado de  $s$  para determinar si el ángulo de rebote  $\alpha_1$  pertenece a tal intervalo y si ocurre una colisión con el disco. A continuación se determina el sitio (el ángulo  $\theta_0$ ) sobre el círculo en el cual la colisión tiene lugar. Así el ángulo de salida ( $\alpha_2$ ) puede ser calculado y por consiguiente la ecuación de la recta que describe la partícula luego del choque con el disco.

En la figura 3 pueden apreciarse las variables involucradas. La tarea consiste en encontrar  $\theta_0$  y subsecuentemente  $\alpha_2$  como funciones de las variables conocidas  $s, \alpha_1$  y  $R$ .

Al exigir en la colisión que el ángulo de incidencia de la partícula (respecto a la dirección normal a la superficie del disco en el punto de choque) sea igual al ángulo de rebote, puede encontrarse la relación  $\alpha_2 = 2\theta_0 - \alpha_1$ . Resta aún encontrar  $\theta_0$  y esto se logra resolviendo (para  $\theta$ ) el triángulo formado por el radio  $R$  (opuesto al ángulo  $\gamma$ ), el lado  $h$  y el primer segmento de la trayectoria de la partícula originada desde  $s$  (opuesto al ángulo  $\theta$ ). La expresión para  $\theta$  resulta ser:

$$\theta = \arcsen \left\{ \frac{\text{sen } \gamma \cos \gamma}{R} \left[ h \pm \sqrt{R^2 + (R^2 - h^2) \tan^2 \gamma} \right] \right\}$$

Una vez obtenido  $\theta$  es fácil conocer  $\theta_0$  pues el ángulo  $\delta$  es conocido. Calculadas las variables  $\theta_0$  y  $\alpha_2$  se tiene ya definida la recta correspondiente al segundo segmento de la trayectoria de la partícula luego del choque con el disco:

$$m = \tan \alpha_2, \quad b = 0.5 - R \cos \theta_0 - (0.5 + R \text{ sen } \theta_0) \tan \alpha_2.$$

Con esta recta determinada queda únicamente por calcular el nuevo  $s$  correspondiente al siguiente rebote de la partícula con uno de los lados del billar de manera idéntica a la descrita en la primera parte de esta sección.

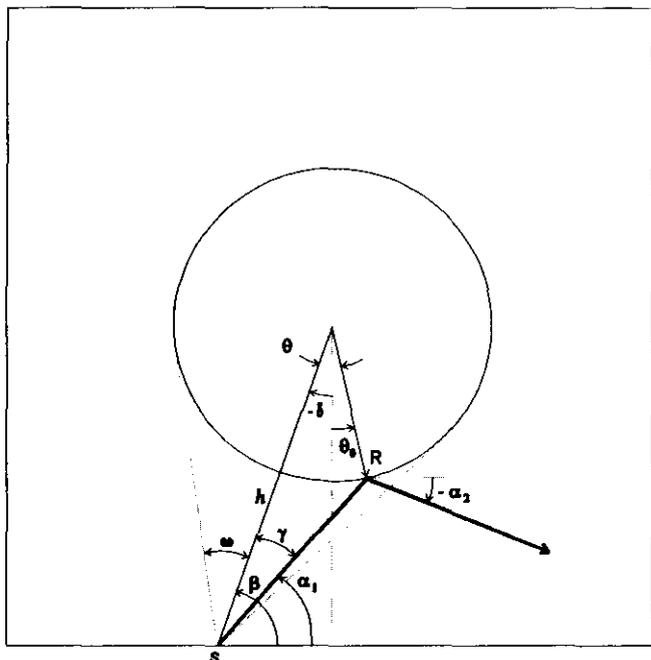


Figura 3. Variables geométricas que permiten determinar si ocurre una colisión con el disco.

La expresión para  $\theta$  y las relaciones auxiliares que definen las cantidades  $h$  y  $\gamma$  son:

$$h = \sqrt{(1/2)^2 + (1/2 - s)^2}$$

$$\gamma = |\beta - \alpha_1|$$

Se supone que la partícula proviene del lado horizontal inferior del billar. Para obtener el resultado correcto, cuando la partícula provenga de un lado cualquiera, simplemente se efectúa una rotación de una, dos ó tres veces  $\pi/2$  (sentido contrario a las manecillas del reloj) según la partícula provenga del lado derecho, superior ó izquierdo respectivamente. El resultado obtenido debe entonces ser modificado efectuando la rotación inversa.

Un listado completo de una implementación FORTRAN de este algoritmo se incluye como anexo.

### 3. Resultados

Con el algoritmo a mano es posible originar una trayectoria periódica (si de antemano se conociese su evolución) y seguirla hasta que se desviase de lo esperado y así estimar la precisión del algoritmo. Una de estas órbitas (trayectorias) periódicas más susceptibles de desviarse apreciablemente es la estrella (figura 4) pues tiene lugar una colisión con el disco central siempre entre dos rebotes sucesivos con los lados del billar. Como se ha visto en la

sección anterior, en una colisión con el disco central se ven involucradas funciones trigonométricas inversas, las cuales hacen uso directo de una representación numérica de  $\pi$  y otros números irracionales. Al representar  $\pi$  como un número de doble precisión se incurre en un pequeño error que luego de cada rebote con el disco central se va acumulando y dadas las características fuertemente caóticas del sistema este error basta para que al cabo de cierto número de colisiones la órbita periódica se pierda por completo.

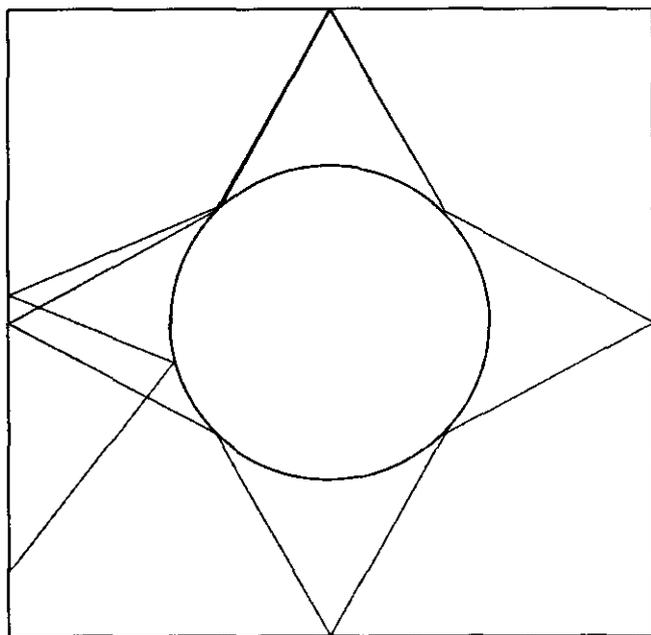


Figura 4. Análisis de la precisión del algoritmo con base en el comportamiento numérico de una órbita periódica (la estrella).

En la figura 4 (generada con el código FORTRAN anexo) puede apreciarse la órbita en forma de estrella que en principio se repite indefinidamente. Sin embargo luego de 16 rebotes con el disco central la partícula ya no rebota con el lado correcto: es ésta una órbita periódica *inestable*.

Existen muchas otras órbitas periódicas, unas de periodo largo y otras de periodo corto. El código que anexamos es útil en un análisis cualitativo de órbitas con periodos cortos, o en otras palabras, órbitas periódicas que en un solo periodo sufran menos de siete rebotes con el disco central, de modo que se repitan al menos dos veces y poder así identificar tal órbita con una órbita periódica verdadera.

Es interesante notar las huellas de las órbitas periódicas en el espacio de fase (superficie de sección o plano de Poincaré) asociado a este sistema. Como variables canónicamente conjugadas emplearemos  $s$  y el coseno del ángulo de rebote, medido esta vez sobre el lado

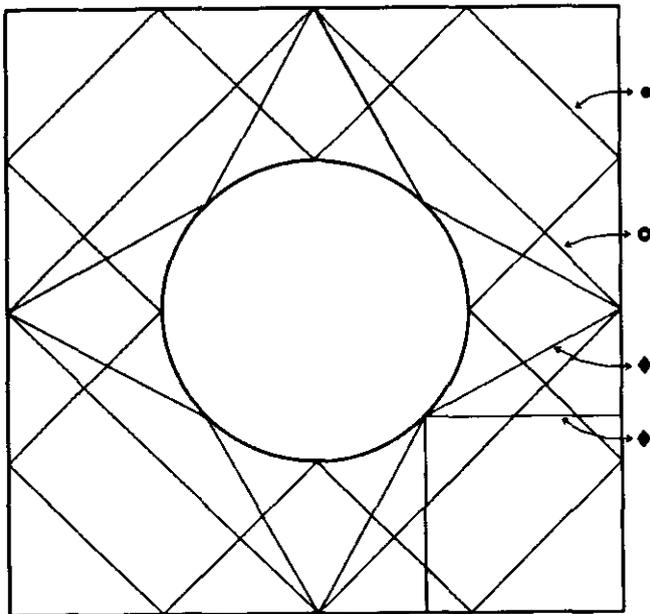


Figura 5a. Órbitas periódicas de periodo corto. Cada órbita se encuentra identificada con un símbolo.

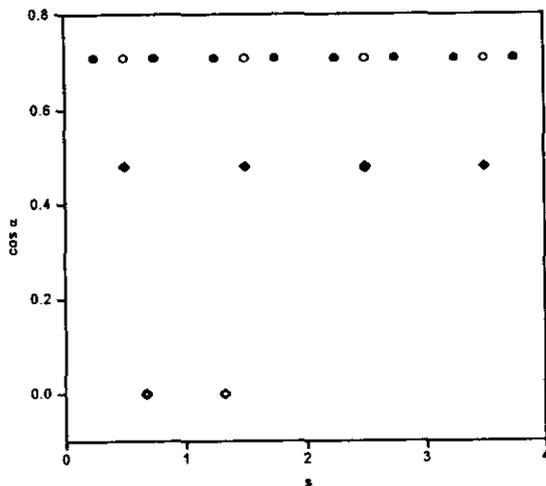


Figura 5b. Representación de las órbitas en el espacio de fase  $s$ - $\cos \alpha$ .

correspondiente, tal y como se indicó en la primera sección. No tomaremos en cuenta los rebotes con el disco central para construir la gráfica, sino únicamente los rebotes con los lados del billar de modo que cada punto en la superficie de sección corresponde a una colisión con una de las paredes. En la figura 5 podemos observar algunas órbitas periódicas de periodo corto y su representación en el espacio de fase. Adicionalmente a estas órbitas existen otras aún más triviales (que no se muestran en la gráfica) como

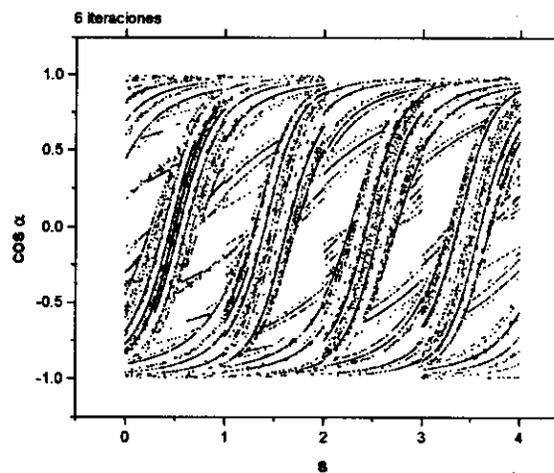
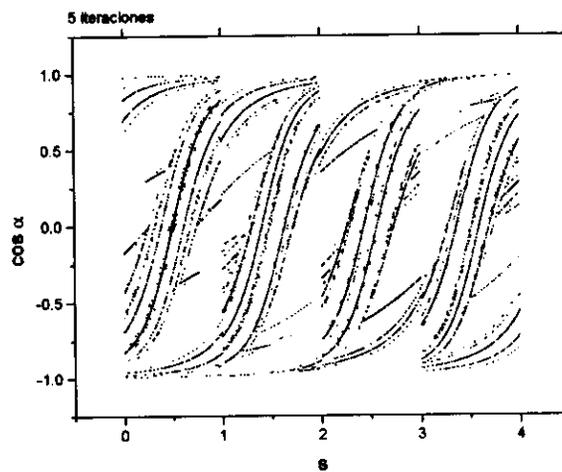
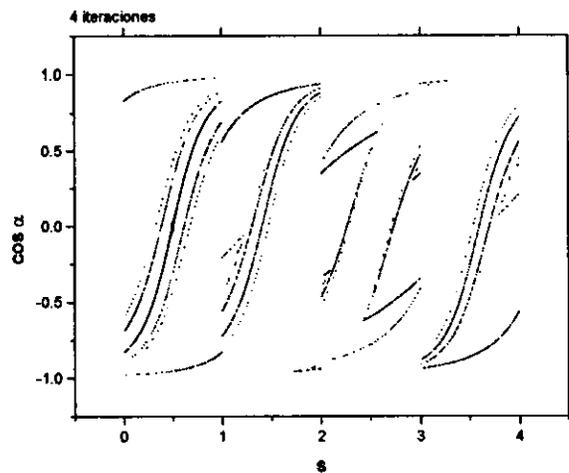
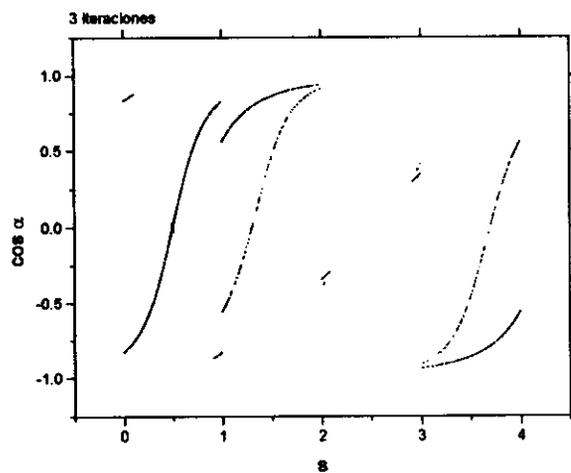
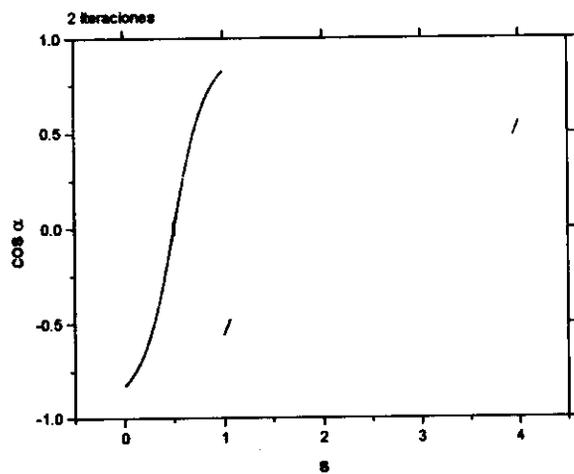
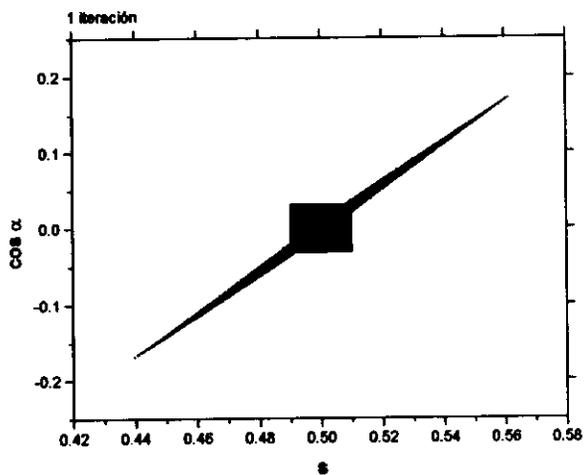
son aquellas en las que la partícula va y vuelve entre dos paredes opuestas del billar sin tocar el disco central, ó aquellas en las que la partícula rebota desde el punto medio de uno de los lados y choca perpendicularmente con el disco central.

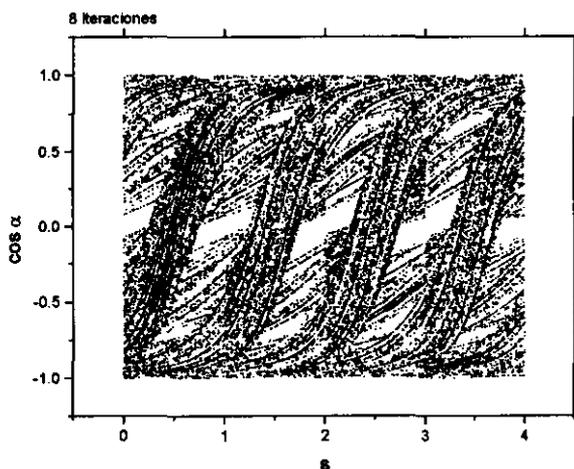
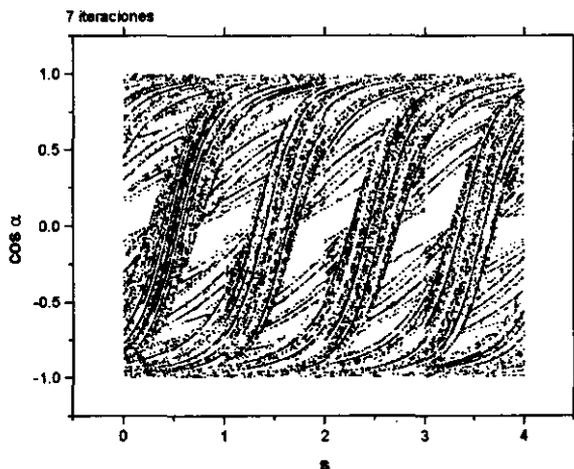
Una vez identificadas algunas órbitas regulares de periodo corto en el espacio de fase, podemos ahora realizar el siguiente experimento: preparar una colección de un gran número de billares idénticos con unas condiciones iniciales dadas y observar cómo evolucionan a medida que el número de rebotes aumenta (máximo 14 rebotes en total para obtener datos cualitativamente aceptables).

En las siguientes gráficas (figura 6) se muestra la evolución temporal de una colección de 66564 billares idénticos con condiciones iniciales  $(s_0, \alpha_0)$  distribuidas uniformemente para  $s_0$  entre 0.49 y 0.51 y para  $\alpha_0$  entre  $\pi/2 - \pi/100$  y  $\pi/2 + \pi/100$ . Estas condiciones iniciales corresponden al objeto cuadrado en la gráfica de la primera iteración. A medida que el número de iteraciones se incrementa la distribución inicial se deforma completamente y poco a poco empieza a cubrir todo el espacio accesible en la superficie de sección.

Eventualmente todo el espacio accesible es cubierto excepto por ciertas zonas que corresponden precisamente a órbitas periódicas (de periodo corto). Especialmente notorias son las zonas centrales que corresponden a órbitas que van y vienen de una pared a otra sin chocar con el disco central. Estas últimas órbitas no son estrictamente inestables puesto que es posible desplazar el punto inicial  $s_0$  infinitesimalmente y obtener de nuevo una órbita periódica del mismo tipo (conocidas en inglés como *bouncing ball modes*). Sin embargo si en el espacio de fase el desplazamiento infinitesimal de la condición inicial se realiza en ambas variables,  $s_0$  y  $\alpha_0$ , entonces las órbitas obtenidas se separarán -obedeciendo quizás una ley exponencial, caracterizada por el exponente de Lyapunov-, y llenarán todo el espacio de fase accesible. Estas órbitas constituyen un conjunto de medida nula en medio del conjunto de todas las órbitas posibles, de manera que es muy difícil que una órbita cualquiera (como una asociada con alguna de las condiciones iniciales que se han escogido en este ejemplo) coincida precisamente con una órbita periódica. A lo sumo podrá seguirla unos cuantos rebotes para luego desviarse completamente (algo parecido al caso de la estrella). Por tanto, los puntos del espacio de fase correspondientes a estas órbitas periódicas difícilmente serán cubiertos.

**Figura 6.** Evolución temporal de 66564 billares con condiciones iniciales concentradas alrededor de  $s_0=0.5$  y  $\alpha_0=\pi/2$ .





En las dos gráficas de la figura 7 se muestra el resultado luego de 14 iteraciones para el anterior experimento y también para otro en el que las condiciones iniciales se escogieron aleatoriamente de manera uniforme sobre toda la superficie de sección. En el primer caso las zonas no cubiertas (por encima y por debajo de la línea central horizontal) corresponden a todas las órbitas en forma de cuadrado ó rectángulo que nunca chocan con el disco, mientras que las situadas a lo largo de la línea central corresponden a todas las órbitas que rebotan sucesivamente entre dos lados opuestos (sin tocar el disco). En la segunda gráfica ampliada (correspondiente a condiciones iniciales aleatorias) estas últimas órbitas son también claramente discernibles.

#### 4. Conclusiones

El billar de Sinai es un sistema que presenta sensibilidad a las condiciones iniciales (requisito indispensable para poder ser calificado de caótico), como sugieren las gráficas de la evolución temporal, en donde a partir de unas condiciones iniciales muy cercanas entre sí, el sistema (la colección de sistemas) alcanza al cabo de pocos rebotes una distribución en muy buena medida uniforme sobre todo el espacio de fase accesible. Es ésta también la característica fundamental de los sistemas ergódicos, en donde un estado arbitrario en el espacio de fase accesible será alcanzado por el sistema considerado, dada una cantidad suficiente de tiempo y sin importar en absoluto la condición del sistema en el instante inicial.

La sensibilidad a las condiciones iniciales se refleja en la inestabilidad de las órbitas periódicas y esto origina una fuente de error considerable en el algoritmo que hemos desarrollado pues en él se hace uso de una representación numérica finita del número  $\pi$ . Será fruto de un nuevo trabajo (empleando una mejor representación numérica) verificar estas afirmaciones lo mismo que el cálculo de los exponentes de Lyapunov, que caracterizan el grado de inestabilidad de las órbitas.

#### Agradecimientos

Nuestros muy especiales agradecimientos a Carlos Viviescas y a Juan Diego Urbina por sus invaluable observaciones y correcciones al presente trabajo.

#### Bibliografía

- Blümel, R. y Reinhardt, W. P., 1997.** Chaos in Atomic Physics. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mullin, Tom (Editor), 1995.** The Nature of Chaos. Oxford: Clarendon Press.
- Sinai, Y. G., 1979.** Russ. Math. Surv. **25**, pág. 137.

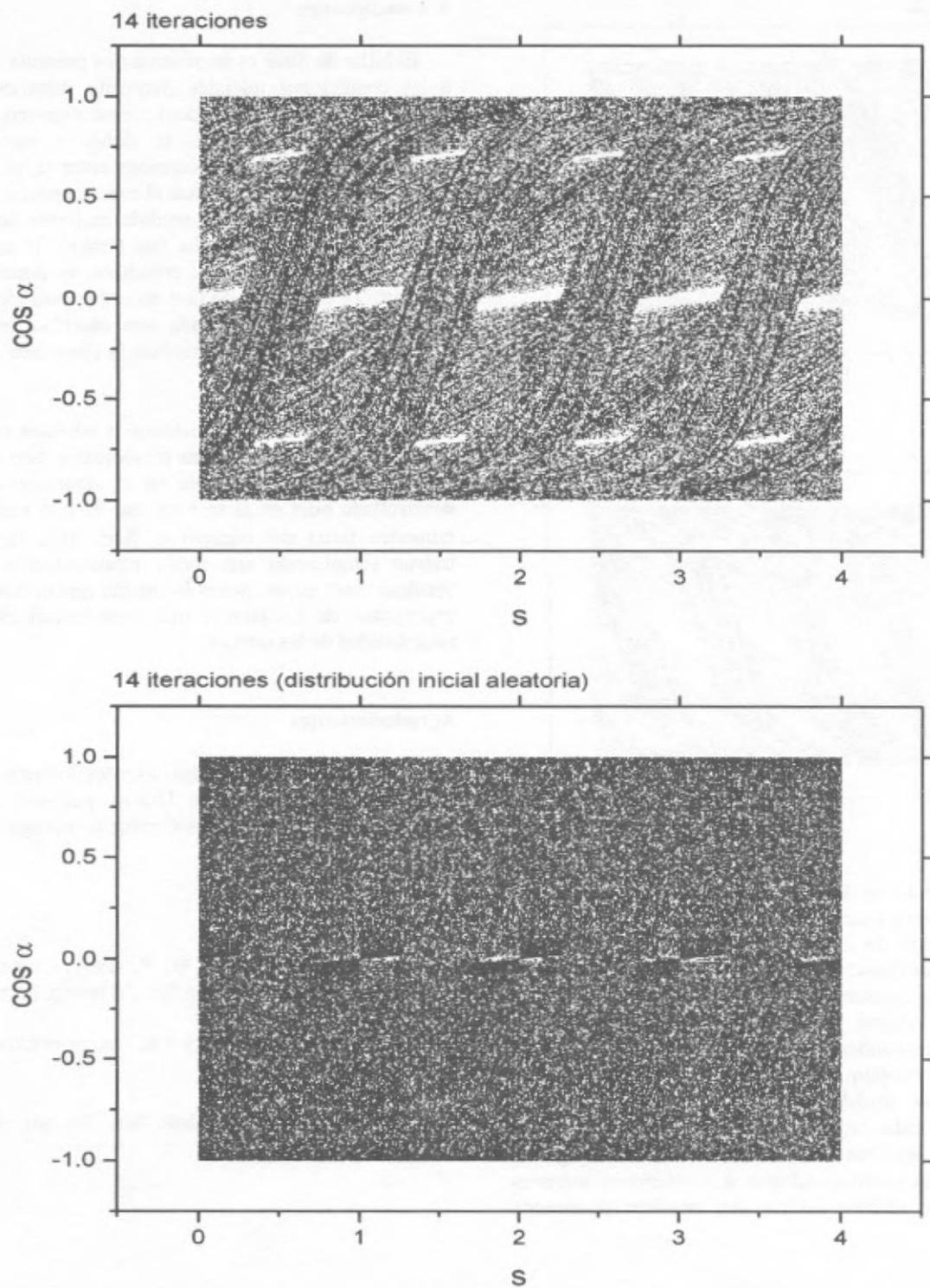


Figura 7. Evolución temporal luego de 14 iteraciones de una colección de 66564 billares con condiciones iniciales concentradas (gráfica superior) ó distribuidas aleatoriamente (gráfica inferior).

### Anexo: Una implementación FORTRAN

#### c Sinai's Billiard

```
Interface to double precision function sfunc (mf,bf,alphaf)
double precision mf, bf, alphaf
end
```

#### Program Sinai

```
double precision R, s, alpha, alpha1, alpha2, alpha3, var1, var2
double precision delta, beta, h, w, gamma, theta, theta1, theta2
double precision sfrac, b, m, theta0, theta00, pi, sfunc, x, y
character filename1*16, filename2*16
integer numic1, numic2, maxiter, sint, i, j
real*4 sr, alphas
call seed(-1)

pi=dacos(-1)

write (*,*) 'Enter Filename for Phase Space (<= 12) '
read (*,'(a16)') filename1
write (*,*) 'Enter Filename for Config Space (<= 12) '
read (*,'(a16)') filename2
write (*,*) 'Enter Disc Radius (<0.5) '
read (*,*) R
open (3, file=filename1)
open (5, file=filename2)

numic1=258
numic2=258
maxiter=14

do 100 i=1, numic1
    do 110 j=1, numic2

c      s=0.49+0.02*i/numic1
c      alpha=(pi/2)-(pi/100)+(pi/50)*j/numic2

c      s=0.5*i/numic1
c      alpha=(pi/2)*j/(numic2)

700   call random(sr)
       s=sr*4

       call random(alphas)
       alpha=alphas*2*pi

       if (int(s).eq.0) then
           if (alpha.gt.pi) then
               goto 700
           end if
       end if
```

```
       if (int(s).eq.1) then
           if (alpha.lt.pi/2.or.alpha.gt.3*pi/2) then
               goto 700
           end if
       end if
       if (int(s).eq.2) then
           if (alpha.lt.pi) then
               goto 700
           end if
       end if
       if (int(s).eq.3) then
           if (alpha.gt.pi/2.and.alpha.lt.3*pi/2) then
               goto 700
           end if
       end if

c      s=0.25
c      s=0.5
c      s=0.5+R/sqrt(2.0)
c      alpha=pi/4
c      alpha=pi/2-datan(R*sqrt(2.d0)/(1-R*sqrt(2.d0)))
c      alpha=pi/2

       write (3,500) s, dcos(alpha)
       write (5,500) s, 0.0D0

       do 300 n=1, maxiter

           sint=int(s)
           sfrac=s-sint

           alpha1=alpha-sint*pi/2

080   if (alpha1.gt.2*pi) then
           alpha1=alpha1-2*pi
           goto 080
       end if
       if (alpha1.lt.0) then
           alpha1=alpha1+2*pi
           goto 080
       end if

       delta=datan((sfrac-0.5)/0.5)
       beta=pi/2+delta
       h=sqrt(0.25+(0.5-sfrac)**2)
       w=dasin(R/h)

       if (alpha1.gt.beta-w.and.alpha1.lt.beta+w) then

           gamma1=beta-alpha1
           gamma=abs(gamma1)
           var1=sqrt(R**2+(R**2-h**2)*((dtan(gamma))**2))
           var2=dsin(gamma)*dcos(gamma)/R
           theta1=dasin(var2*(h+var1))
           theta2=dasin(var2*(h-var1))
```

```

if (theta1.lt.theta2) then
  theta=theta1
else
  theta=theta2
end if

theta0=delta+dsign(theta,gamma1)
alpha2=2*theta0-alpha1

theta00=theta0+sint*pi/2
alpha=alpha2+sint*pi/2

x=0.5+R*dsin(theta00)
y=0.5-R*dcos(theta00)
write(5,500) x,y

015  if (alpha.gt.2*pi) then
      alpha=alpha-2*pi
      goto 015
    end if
    if (alpha.lt.0) then
      alpha=alpha+2*pi
      goto 015
    end if
    if (alpha.eq.pi/2) then
      s=2.5+R*dsin(theta0)
      alpha=3*pi/2
      goto 200
    end if
    if (alpha.eq.3*pi/2) then
      s=0.5+R*dsin(theta0)
      alpha=pi/2
      goto 200
    end if

    m=dtan(alpha)
    b=0.5-R*dcos(theta00)-m*(0.5+R*dsin(theta00))
    goto 180

end if

if (alpha.eq.pi/2) then
  sint=2
  sfrac=1-sfrac
  s=sint+sfrac
  alpha=3*pi/2
  goto 200
end if
if (alpha.eq.3*pi/2) then
  sint=0
  sfrac=1-sfrac
  s=sint+sfrac
  alpha=pi/2
  goto 200
end if

m=dtan(alpha)
if (sint.eq.0) b=-m*sfrac
if (sint.eq.1) b=sfrac-m
if (sint.eq.2) b=1-m*(1-sfrac)
if (sint.eq.3) b=1-sfrac

180  s=sfunc(m,b,alpha)
      sint=int(s)
      sfrac=s-int(s)
      if (sint.eq.0.or.sint.eq.2) then
        alpha=2*pi-alpha
      else
        alpha=pi-alpha
      end if

025  if (alpha.gt.2*pi) then
      alpha=alpha-2*pi
      goto 025
    end if
    if (alpha.lt.0) then
      alpha=alpha+2*pi
      goto 025
    end if

200  if (int(s).eq.0) then
      x=s-int(s)
      y=0
    end if
    if (int(s).eq.1) then
      x=1
      y=s-int(s)
    end if
    if (int(s).eq.2) then
      x=1-s+int(s)
      y=1
    end if
    if (int(s).eq.3) then
      x=0
      y=1-s+int(s)

end if

alpha3=alpha-sint*pi/2

write(3,500) s,dcos(alpha3)
write(5,500) x,y

300  continue
110  continue
100  continue

500  format(2f20.16)

end

```

```
double precision FUNCTION sfunc( mf, bf , alphaf)
double precision mf, bf, alphaf, s1f, s2f, sfracf, pi
integer sintf
```

```
pi=dacos(-1)
```

```
if (alphaf.gt.0.and.alphaf.lt.pi/2) then
```

```
  s1f=mf+bf
```

```
  s2f=(1-bf)/mf
```

```
  if (s1f.lt.1) then
```

```
    sfracf=s1f
```

```
    sintf=1
```

```
  else
```

```
    sfracf=1-s2f
```

```
    sintf=2
```

```
  end if
```

```
end if
```

```
if (alphaf.gt.pi/2.and.alphaf.lt.pi) then
```

```
  s1f=bf
```

```
  s2f=(1-bf)/mf
```

```
  if (s1f.lt.1) then
```

```
    sfracf=1-s1f
```

```
    sintf=3
```

```
  else
```

```
    sfracf=1-s2f
```

```
    sintf=2
```

```
  end if
```

```
end if
```

```
if (alphaf.gt.pi.and.alphaf.lt.3*pi/2) then
```

```
  s1f=bf
```

```
  s2f=-bf/mf
```

```
  if (s1f.lt.1.and.s1f.gt.0) then
```

```
    sfracf=1-s1f
```

```
    sintf=3
```

```
  else
```

```
    sfracf=s2f
```

```
    sintf=0
```

```
  end if
```

```
end if
```

```
if (alphaf.gt.3*pi/2.and.alphaf.lt.2*pi) then
```

```
  s1f=-bf/mf
```

```
  s2f=mf+bf
```

```
  if (s1f.lt.1.and.s1f.gt.0) then
```

```
    sfracf=s1f
```

```
    sintf=0
```

```
  else
```

```
    sfracf=s2f
```

```
    sintf=1
```

```
  end if
```

```
end if
```

```
if (alphaf.eq.0.or.alphaf.eq.2*pi) then
```

```
  sintf=1
```

```
  sfracf=bf
```

```
end if
```

```
if (alphaf.eq.pi) then
```

```
  sintf=3
```

```
  sfracf=1-bf
```

```
end if
```

```
sfunc=sintf+sfracf
```

```
return
```

```
end
```

# DESCRIPCIÓN DEL CURSO DE CÁLCULO DIFERENCIAL DE AIMÉ BERGERON EN EL *COLEJIO MILITAR*

por

Víctor Samuel Albis-González\* & Clara H. Sánchez\*

## Resumen

**V. S. Albis-González & C. H. Sánchez:** Descripción del Curso de Cálculo de Aimé Bergeron en el Colejio Militar. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23**(86): 73-79. 1999. ISSN 0370-3908.

En este trabajo hacemos la descripción de un manuscrito, que reposa en la Biblioteca Nacional de Colombia, el cual contiene las notas de Sixto I. Barriga tomadas en el curso de cálculo diferencial, dictado en el *Colejio Militar* por Aimé Bergeron, en 1851. La importancia de este manuscrito estriba en que documenta de manera incontestable la enseñanza del cálculo en Colombia a nivel universitario, en el siglo XIX, aunque no podemos afirmar que se trate de la primera vez que esta materia se hubiese enseñado en el país. Recalcamos, así mismo, la hipótesis de que la edición de textos por parte de los profesores del *Colejio Militar* era parte de una política institucional, inspirada posiblemente en las influencias francesas en su estructura y funcionamiento.

**Palabras claves:** Historia de la matemática, enseñanza de la matemática, Colombia, siglo XIX.

## Abstract

In this paper we describe a manuscript containing the classroom notes, by Sixto I. Barriga, of a course on Differential Calculus taught by Aimé Bergeron at the *Colejio Militar* (1851). The manuscript documents indisputably the teaching of Calculus in Colombia as part of a higher education curriculum during the 19th century, though we cannot assert this was the first time. Also, we heavily stress our hypothesis on the existence of a publishing policy in the *Colejio Militar*, as a result of the French influence in the structure and functioning of the institution.

**Key words:** History of mathematics, mathematical education, Colombia, 19th Century.

---

Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, Apartado aéreo 91480. Email: <valbis@acefyn.org.co.> <clsanche@ciencias.ciencias.unal.edu.co>.

El levantamiento de este texto se hizo usando el paquete TEX de la AMS.

## §1. Introducción

En el marco de un programa de recuperación de la producción matemática colombiana en el siglo XIX [ALBIS & SÁNCHEZ 1997], presentamos hoy la descripción de un manuscrito continente de las notas de clase, tomadas por SIXTO I. BARRIGA<sup>1</sup> en el curso de cálculo diferencial dictado por AIMÉ BERGERON en el *Colejio Militar*, durante el año escolar de 1851.

Con el citado programa, se pretende continuar el trabajo iniciado por CELINA A. LÉRTORA [1995] en la identificación y análisis de las fuentes primarias para la historia de las ciencias exactas en Colombia en el período colonial, pasando ahora a la época republicana.

La enseñanza de las matemáticas en el *Colejio Militar*, “destinado a formar oficiales científicos de Estado Mayor, de ingenieros, artillería, caballería e infantería, e ingenieros civiles” [Ley del 10. de junio de 1847], como en uno de sus modelos inspiradores, la *École Polytechnique* (ÉP) de Francia<sup>2</sup>, tenía un papel preponderante. Este papel se lo imprimió, sin duda alguna, LINO DE POMBO<sup>3</sup>, uno de los primeros ingenieros colombianos y alma del *Colejio*, aunque nunca fue su director. Durante tres años los alumnos del *Colejio*, debían tomar, además de otras materias de interés científico e ingenieril, los siguientes cursos de ma-

temáticas: aritmética, álgebra, geometría especulativa y práctica, trigonometría rectilínea y esférica, geometría analítica, secciones cónicas, geometría descriptiva y *cálculo diferencial e integral*.

Estos últimos eran, en la reglamentación escrita, el *coronidis loco* de la enseñanza matemática en el *Colejio* [SAFFORD 1976, pág. 173 *et seq.*].

En 1848, comenzó allí su labor de profesor de matemáticas el ciudadano francés AIMÉ BERGERON<sup>4</sup>, para apoyar y asistir a LINO DE POMBO, hasta entonces el único profesor de la materia en la institución. BERGERON había sido contratado por el gobierno de TOMÁS C. DE MOSQUERA para trabajar inicialmente en el *Instituto de ciencias naturales y matemáticas*<sup>5</sup>, creado por el mismo gobierno el mismo año que el *Colejio* [F. SAFFORD 1976, pág. 125].

Algunos historiadores de la ciencia mencionan, sin aludir específicamente a ninguna fuente primaria, que fue BERGERON la primera persona en dictar un curso de cálculo en el *Colejio* [PERRY 1973, págs. 5-32] y agregan otros que *escribió* un libro “sobre el Cálculo Diferencial pero tanto su nombre como su contenido se desconocen” [I. CASTRO 1997, pág. 6]. Esta mención continuada e iterativa de la “existencia del curso” de BERGERON por una serie de historiadores, sin aportar pruebas de su eventual existencia, ha podido originarse en el hecho de que alguien hubiese consultado el manuscrito, asunto de este trabajo, en la Biblioteca Nacional de Colombia (BNC) (algo que no es improbable pues ha estado registrado en sus ficheros públicos desde 1919 [*vide infra*, nota al pie de página no. 8]), y comunicado su existencia a otros, quienes a su vez contribuyeron a difundir la leyenda de un texto o manuscrito acabado y supuestamente escrito por BERGERON.

A la luz del manuscrito que describimos a continuación y del análisis de otras circunstancias, sí podemos afirmar ahora, con absoluta seguridad, que BERGERON fue el primero en dictar un curso de cálculo diferencial en el *Colejio*. Las razones para esta aseveración son las siguientes: el alumno SIXTO I. BARRIGA pertenecía a la primera promoción de la institución, que empezó sus

<sup>1</sup>SIXTO I. BARRIGA era hijo del General JOAQUÍN BARRIGA, quien desde la *Secretaría de Guerra y Marina*, a la cual estaba adscrito el *Colejio*, ejercía un enorme control sobre éste. Por ejemplo, en 1847, la solicitud de LINO DE POMBO de libros científicos e instrumentos, fue atendida por BARRIGA (quien durante ese año fue también Secretario de Hacienda), pasando por encima del director del *Colejio*, General JOSÉ MARÍA ORTEGA, quien los consideraba “absolutamente innecesarios”. Más tarde fue su Director. También fue el candidato presidencial de TOMÁS C. MOSQUERA para la elección que ganó JOSÉ HILARIO LÓPEZ. SIXTO I. BARRIGA pertenecía a la clase de estudiantes que pagaban en el *Colejio Militar* tanto el valor de su pensión como el de los uniformes y el resto de la dotación. En cambio, uno de sus hermanos, quien inició simultáneamente sus estudios en el *Colejio*, estaba pensionado (becado) por la provincia de Bogotá. Una buena porción de los estudiantes eran hijos de generales.

<sup>2</sup>El otro modelo era la *Academia Militar de West Point*, en los EE. UU. AA. La ÉP fue creada en 1792, por decreto del 6 de febrero, del año III. Entre sus creadores académicos debemos mencionar a GASPAR MONGE, LAZARE CARNOT y MARIE RICHE DE PRONY. Creada inicialmente bajo el nombre de *Escuela Central de Obras Públicas*, tenía un pénsium eminentemente ingenieril, orientado hacia los aspectos prácticos de la ingeniería. Los aspectos teóricos, a partir de 1816, bajo el impulso de LAPLACE, quien estuvo desde 1800 en su Consejo de Perfeccionamiento, se hicieron cada vez más importantes, con mayor fuerza en la segunda década del siglo XIX con la presencia e influencia de A. CAUCHY (durante la restauración de la monarquía). Esta tendencia hacia el ideal teórico continúa aún en nuestros días.

<sup>3</sup>LINO DE POMBO (1797-1862) hizo sus estudios de ingeniería en la Universidad de Alcalá de Henares y en la *École de ponts et chaussées* en París.

<sup>4</sup>Se conoce muy poco sobre la vida de AIMÉ BERGERON. Parece que su formación era la de ingeniero, probablemente formado en la *École des ponts et chaussées*, en la cual pudo conocer a LINO DE POMBO, quien además tuvo que ver con su contratación. Basada en una descripción física de JOSÉ MARÍA CORDOVEZ MOURE [1957], hemos propuesto una caricatura conjetural de BERGERON [ALBIS 1998].

<sup>5</sup>No es muy claro qué devino este Instituto, sucesor probable de la Academia creada por FRANCISCO DE PAULA SANTANDER y, por ende, antecesor probable de la actual *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.

estudios en la llamada *clase preparatoria*, en enero de 1848. De modo que el intervalo de tiempo 1848-1851, la obligatoriedad de la clase preparatoria previa (instaurada ante la deficiente preparación de los admitidos) y la duración de los estudios de matemáticas nos muestran que sólo esta promoción pudo recibir de BERGERON el curso de cálculo diferencial de 1851.

No nos es posible afirmar que éste haya sido el *primer* curso de cálculo diferencial dictado en el país, puesto que, según SAFFORD [1976, págs. 125 *et seq.*], otros profesores traídos de Francia, como FRANÇOIS CHASSARD, en Cali, tuvieron en otras regiones del país la misión de enseñar matemáticas para ingenieros. El mismo autor indica también que en la década de los 40 del siglo pasado, un colombiano, educado en el exterior, ofreció cursos de *matemáticas superiores* en Panamá [SAFFORD 1976, pág. 129]. Por otra parte, en el siglo XVIII, circularon con cierta amplitud en la Nueva Granada las *Observaciones astronómicas* [1748] de JORGE JUAN & ANTONIO DE ULLOA<sup>6</sup> y, en el XIX, el *Tratado elemental de matemáticas* [1815-1832] de JOSÉ MARIANO VALLEJO, ambas obras continentes de exposiciones sistemáticas del cálculo infinitesimal. Esto apunta hacia la posibilidad de que otras personas hayan aprendido y comprendido los fundamentos del cálculo infinitesimal sin necesidad de cursos formales y a su vez intentar enseñarlo a otras. Pero éste es aún terreno inexplorado en la historia de la enseñanza del cálculo en Colombia.

Ya hemos mencionado que la ÉP sirvió en buena parte de modelo al *Colejio*. Una de las características de las Grandes Escuelas (*les Grandes Ecoles*) francesas, generadas por la Revolución y apoyadas por el Imperio napoleónico, para la paz y para la guerra, fue la *profesionalización* de los científicos franceses (*les savants*), en especial de los matemáticos, como *enseñantes*, y como parte de esa profesionalización existió en la *École Polytechnique*, para sus profesores, la obligación de escribir *textos* para los estudiantes. Aquí, si no la obligación, por lo menos existió la intención de sus profesores de escribir las lecciones dadas en el *Colejio* y publicarlas posteriormente. Hacia esta hipótesis apunta el hecho de que LINO DE POMBO haya escrito sus *Lecciones de geometría analítica*, publicadas en 1850 [DE POMBO 1850] y sus *Lecciones de arit-*

*mética y álgebra*, en 1856 [DE POMBO 1856], y tuviese apuntes para textos de trigonometría, topografía, geometría descriptiva y cálculo diferencial e integral, según lo registra, en 1894, el informe del Rector de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, MANUEL PONCE DE LEÓN [BATEMAN 1972, pág. 499]. Que BERGERON publicara la primera parte de sus *Lecciones de matemáticas. Parte primera. Aritmética* [BERGERON 1848], siendo profesor del *Colejio*, y que más tarde INDALECIO LIÉVANO, egresado y luego profesor del *Colejio*, escribiera y publicara, como resultado de sus enseñanzas en el mismo, sus textos *Tratado de aritmética* [LIÉVANO 1856] y *Tratado de álgebra* [LIÉVANO 1876]. Finalmente, recordemos también que LIÉVANO en sus *Investigaciones científicas* [LIÉVANO 1871, Prólogo] no sólo anuncia la publicación de su libro de álgebra [LIÉVANO 1876] sino también la de uno de geometría. Este último aunque aparentemente estaba listo, nunca salió a la luz<sup>7</sup>.

Dado lo anterior, no podemos descartar de plano que BERGERON tuviese la intención de publicar un texto de cálculo y que tuviese, además, dispuesto un manuscrito con tal fin, pero nada nos permite asegurarlo. Si tal fuese, muy probablemente se apartaría muy poco de las lecciones orales recogidas por SIXTO I. BARRIGA. Naturalmente, la turbulencia política de la época, que puso en peligro la existencia misma del *Colejio* y lo condujo finalmente a su cierre temporal, más las dificultades tipográficas que un libro de esa naturaleza imponía y que muy seguramente eran en su momento y lugar insalvables, hubiesen hecho casi impracticable su edición en el país.

La localización e identificación del documento que nos ocupa en la BNC, *Fondo Pineda*, no sólo nos permite hoy aclarar algunos aspectos de la historia de la enseñanza del cálculo en Colombia, sino también realizar su transcripción completa, la cual aparecerá, precedida de una introducción y de notas pertinentes exhaustivas, en una planeada serie de publicaciones que hemos llamado los *Textos matemáticos del Colejio Militar*.

Si nos atenemos a las afirmaciones de PONCE DE LEÓN, mencionadas anteriormente, también debió dic-

<sup>6</sup>Una copia de la obra de JUAN & ULLOA, perteneciente a FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, se encuentra en la Biblioteca del Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional. Aunque CALDAS cita con frecuencia las fórmulas y resultados meteorológicos contenidos en esta obra, nada nos permite afirmar que hubiese estudiado o comprendido sus fundamentos teóricos, en particular los del cálculo infinitesimal.

<sup>7</sup>Para corroborar su intención de publicar un tratado de geometría y que tenía consigo un manuscrito, basta observar que en la página 5 (la primera del libro) de sus *Investigaciones*, cuando empieza a explicar su primer método para demostrar el postulado euclídeo de las paralelas, dice textualmente: "Antes hemos visto que dos rectas perpendiculares a una tercera, cumplen perfectamente con esta definición [la de ser paralelas]...", lo que pareciera indicar que el texto citado lo ha tomado del manuscrito que tenía preparado.

tarse un curso de cálculo integral por parte de LINO DE POMBO.

## §2. Descripción del manuscrito

### Descripción del ejemplar

Originalmente el manuscrito estaba encuadernado, con otros doce documentos o piezas, en un volumen, de tapas duras, cubiertas de papel marmolado, y lomo de cuero, de 25×18 cms., en regular estado, identificado con el número de índice 2310, del *Fondo Pineda* de la BNC<sup>8</sup>.

En 1998, en el proceso de modernización de la BNC, estos documentos fueron separados y archivados individualmente, de manera que el documento que nos interesa (conocido como la Pieza 13 del volumen original) puede ahora consultarse independientemente. El documento consta de 13 folios útiles con paginación propia de la 1 a la 24, sin incluir la página titular. Cada uno de los folios mide 16 × 22cms. y el promedio de renglones que aparecen escritos en cada uno es 26. El papel es fino, hecho a mano. La letra es moderna y clara. La tinta se encuentra en buen estado. Con respecto a la ortografía, aparecen con frecuencia el intercambio de *c* por *s*, y viceversa, el uso de la *n* en vez de la *m* antes

<sup>8</sup>Los trece documentos o piezas cosidos en este volumen son los siguientes: Índice de las piezas contenidas en el volumen (fls. 1, 2). Pieza 1: Diploma de la Sociedad Filológica de Bogotá al señor VARGAS TEJADA admitiéndolo como miembro. Bogotá, 1828. Impreso con textos manuscritos. Sello en lacre (fl. 3). Pieza 2, 2bis: Constancias de matrícula de ANTONIO B. PINEDA para cursar Analogía Latina e idioma patrio en la Universidad del Primer Distrito. Bogotá, enero de 1848. Impresos con textos manuscritos (fls. 4, 5). Pieza 3: Clave analítica de la lectura. Instrucción para el maestro (s/f). Impreso, plegado, 76,5×55 cms (fl.6). Pieza 4: Cuadro sinóptico de las partes de la oración castellana. Impreso, plegado, 76,5×55 cms (fl. 7). Pieza 5: Catálogo de adefesios. Disparates o barbarismos sustituidas a las dicciones de la columna de la derecha respectiva, que son las que el buen uso ha recibido (s/f). Impreso, plegado, 64 × 45 cms. (fl. 8). Pieza 6: Reglamento de la casa de refugio, instrucción y beneficencia de Bogotá. Redactado por su presidente Don RUFINO CUERVO. Impreso, foliación a lápiz (fls. 9-26). Pieza 7: Nueva tabla de cuentas para instruir a los niños que las comienzan a practicar en las escuelas de la República Mexicana. México, 1831. Impreso, plegado, foliación a lápiz (fl. 27). Pieza 8: Tabla de la división de los pesos granadinos (fl. 28). Pieza 9: Tabla de la división de pesos y pesas castellanos (fl 29). Pieza 10: Tabla de intereses: cantidad, número de días, producto (fl. 30). Pieza 11: Lecciones de metafísica dictadas por su catedrático, el doctor JOSÉ FÉLIX RESTREPO (de letra de sus alumnos PIOQUINTO ROJAS y RAFAEL MARÍA VELÁZQUEZ (s/l), 1822 (fls, 31-80). Pieza 12: Física por Beltrán, lecciones para el uso de FELIPE LEÓN, 24 de octubre de 1837. Foliación a lápiz (fla. 81-119). Pieza 13: Cuaderno de calculo diferencial. Lecciones dictadas por *Aimé Bergeron* / de SIXTO I. BARRIGA / Bogotá, 1851 (fls. 120-132). La donación de éste (el 4 de octubre de 1919), como los de los otros documentos del Fondo Pineda, fue hecha por ANSELMO PINEDA D.

de la *p*, el uso de la *j* por la *g*, como era costumbre en Colombia en esa época, la ausencia de muchas tildes que usaríamos hoy, así como también la hoy en desuso presencia de tildes en algunas palabras (e.g.: *á*). También aparecen dibujadas 4 figuras alusivas al texto. La escritura es reposada y esmerada, lo cual indicaría que se trata de las notas en limpio de las tomadas durante las lecciones orales.

De ahora en adelante, distinguiremos este manuscrito con la sigla MS y seguiremos su paginación original.

Su página titular es la siguiente

*Cuaderno de calculo / Diferencial / Lecciones dictadas / por / Aimé Bergeron, comprende 4 lecciones / Año de 1851, Bogota. de Sixto I. Barriga*

### Descripción del contenido

El curso consta de cuatro lecciones: La lección primera (MS, págs. 1-6) empieza con las definiciones de variable, función y variable independiente. La definición de función corresponde a la de EULER, de aceptación y uso en la matemática europea contemporánea. La notación funcional y su representación gráfica cartesiana, así como las definiciones de funciones continua, explícita e implícita y de límite aparecen en una sección titulada *Representacion geometrica de las funciones de una sola variable*. En la misma se indica que el límite

$$\lim \frac{\text{sen } x}{x} \quad (1)$$

vale 1 cuando  $x \rightarrow 0$ . Usando algo muy cercanamente correspondiente al simbolismo  $\epsilon - \delta$ , al que estamos acostumbrados actualmente, demuestra que<sup>9</sup>

$$\lim \frac{\text{sen } x}{x} = 0$$

<sup>9</sup>Transcribimos la parte pertinente: "Puede suceder que una cantidad variable al acercarse a su limite se vuelva alternativamente mayor o menor que dicho limite. v.g.

$$\frac{\text{sen } x}{x}$$

suponiendo que  $x$  aumenta indefinidamente. Se acerca a *cero*, [pues] se tiene  $\frac{\text{sen } x}{x} < \frac{1}{x}$  i para que se tenga  $\frac{1}{x} < \epsilon$ , basta que  $x > \frac{1}{\epsilon}$ , siendo  $\epsilon$  una cantidad tan pequeña como se quiera determinarla; luego  $\frac{\text{sen } x}{x}$  tiene límite *cero*. En el mismo tiempo todas las veces que  $x$  creciendo, se vuelve igual a un multiple de la circunferencia se tiene  $\text{sen } x = 0$  y la razón  $\frac{\text{sen } x}{x}$  pasa por *cero* cambiando de signo."

cuando  $x \rightarrow \infty$ . Siguen la noción de igualdad de límites y las de infinitésimos e infinitos. En la sección titulada *Origen del cálculo diferencial*, se le da como tal a la construcción de tangentes a una curva plana, y en la siguiente (*Objeto del cálculo diferencial*), se da la definición de derivada y se calculan las derivadas de las funciones  $y = x^m$  ( $m$  entero  $> 0$ ),  $y = ax^m + bx^n + c^p + \dots$  ( $m, n, p$  enteros  $> 0$ ),  $y = \frac{1}{x^m}$  ( $m$  entero  $> 0$ ) e  $y = \sqrt{x^2 - a^2}$ . La sección concluye con una discusión de la noción de diferencial.

La lección segunda (MS, págs. 7-11) empieza con la sección *Determinación del sentido en que varía una función según el signo de la derivada* y aplica ésta, en la segunda sección, al estudio de la función  $y = \frac{1}{3}x^3 - 2x^2 + 3x + 1$ , para obtener sus máximos y sus mínimos. Se demuestra que si la derivada de una función es nula entre dos valores de la variable, entonces la función es constante, y recíprocamente. También, que si dos funciones difieren por una constante, tienen la misma diferencial y la misma derivada. Las secciones siguientes se dedican a calcular las derivadas de una función de función, de la suma y diferencia de funciones, del producto de dos o más funciones, del cociente de dos funciones y de la potencia fraccionaria de una variable. La última sección, muy corta, explica cómo calcular la derivada de funciones de la forma  $y(x) = u(x) + iv(x)$ , donde  $i$  es la unidad imaginaria.

La primera sección de la lección tercera (MS, págs. 13-18), llamada *Aplicación del cálculo a la determinación de curvas que tienen ciertas propiedades* enseña en casos particulares cómo determinar lugares geométricos representados por ecuaciones diferenciales. En la segunda sección, se consideran funciones de los tipos  $y = f(u, v)$ ,  $y = f(u, v, w)$ , donde  $u$ ,  $v$  y  $w$  son funciones de la variable real  $x$ , y se calculan las respectivas formas diferenciales:

$$dy = \frac{dy}{du} du + \frac{dy}{dv} dv \quad (2)$$

$$dy = \frac{dy}{du} du + \frac{dy}{dv} dv + \frac{dy}{dw} dw .$$

La tercera sección de esta lección empieza el estudio de las series. La convergencia o divergencia de series se define en términos de la existencia o no del límite de la sucesión de sumas parciales. Se demuestra que la serie geométrica sólo converge si el valor absoluto de su razón es menor que 1. Se establece en seguida que una condición necesaria para que una serie sea convergente es que el llamado residuo de la serie tienda a cero. Los criterios de convergencia explicados incluyen el de

comparación y el de LEIBNIZ. En la última sección se estudia la convergencia de las series

$$1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \quad \text{y} \quad 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \cos nx .$$

La cuarta lección (MS, págs. 19-24) repite parte del estudio de las series comenzado en la lección anterior, y define al número  $e$  (la constante de EULER) como el

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \left( 1 + \frac{1}{m} \right)^m .$$

Una de las secciones de esta lección es la *Diferenciación de las funciones trascendentes*, en la cual se hace el estudio de las funciones logaritmo neperiano y decimal. En la sección denominada *Aplicaciones* se estudian las derivadas de las funciones exponencial y trigonométricas. Así termina el curso.

### Citas y fuentes

No se encuentra ninguna cita. Los temas tratados formarían parte de un curso estándar sobre el tema en la Europa contemporánea.

Como posibles fuentes consideraríamos los textos usados en la ÉP y en la *École des ponts et chaussées*, más los libros adquiridos por el *Colejio*, en especial los siguientes títulos<sup>10</sup>:

PUISSANT, *Curso de Matemáticas*, 105 ejemplares.<sup>11</sup>

VALLEJO, *Tratado elemental de matemáticas*.<sup>12</sup>

LACROIX, *Mathématiques* (10 vols.).

FRANCOEUR, *Mathématique pures*.

BOUCHARLAT, *Calcul différentiel*.

LACROIX, *Calcul différentiel* (3 vols.).<sup>13</sup>

De ninguno de ellos conocemos el número o el año de edición de los ejemplares que se compraron, pues no se

<sup>10</sup>Según los inventarios que reposan en el Archivo General de la Nación (SGM Tomo 763 (1849), fs. 558, 559, 560, 561, 563), se recibieron 4 cajas de libros, con 64 títulos, entregados al *Colejio* en 1849. De especial interés, además de los señalados en el texto, son los siguientes: HACHETTE, *Développments de géométrie*, HACHETTE, *Géométrie descriptive*, PAGE, *Complements de géométrie analytique*, MONGE, *Géométrie descriptive*, VALLE, *Géométrie descriptive* (texto y tablas de láminas), CALLET, *Tablas de logaritmos*, SIMONOFF, *Essai sur le calcul intégral*, ZORRAQUÍN, *Geometría descriptiva*, GARCÍA, *Matemáticas*, EUCLIDES, *Éléments de géométrie*, LAPLACE, *Mécanique celeste*, todos relativos a la enseñanza de las matemáticas

<sup>11</sup>Como cada estudiante recibía una dotación completa, podemos suponer que cada uno recibía un ejemplar de este libro como parte de ella. Esto explicaría el elevado número de ejemplares adquiridos por el *Colejio*.

<sup>12</sup>Este tratado consta de 3 tomos, divididos en varias partes, publicadas en diferentes fechas.

<sup>13</sup>La primera edición del *Traité de Calcul différentiel et de Calcul Intégral* de LACROIX es de 1797/1798.

mencionan en los inventarios existentes en el Archivo General de la Nación (AGN). El proceso de localización de estos libros o sus copias contemporáneas aún está incompleto<sup>14</sup>.

Lo que sí es notable y transparente es que las definiciones de *variable*, *infinitésimos*, *infinitos*, *límites*, *continuidad*, etc. dadas por BERGERON parezcan traducciones casi literales de las que se encuentran en los libros de L.-A. CAUCHY [1821, 1823], como se muestra en las siguientes citas:

#### Variable

“On nomme quantité *variable* celle que l'on considère comme devant recevoir successivement plusieurs valeurs différentes les unes des autres”. [CAUCHY, 1821, pág. 4]

“Llamase *variable* una cantidad que puede tomar valores sucesivos diferentes, i *constante* la que guarda un valor fijo i determinado” [BERGERON, MS, pág. 1]

#### Infinitésimos

“On dit qu'une quantité variable devient *infinitement petite*, lorsque sa valeur numérique décroît indéfiniment de manière à converger vers la limite zéro” [CAUCHY, 1821, pág. 26]

“Cuando una cantidad variable toma valores que disminuyen sucesivamente i se acerca a 0, se dice que se vuelve infinitamente pequeña”. “Se llama cantidad *infinitamente pequeña*, una cantidad esencialmente variable que se acerca a cero.” [BERGERON, MS, pág. 3]

#### Límites

“Lorsque les valeurs successivement attribuées à une même variable s'approchent indéfiniment d'une valeur fixe, de manière à finir par en différer aussi peu que l'on voudra, cette dernière est appelée la *limite* de toutes les autres.” [CAUCHY, 1821, págs. 4-5]

“Cuando los valores sucesivos de una variable se acercan indefinidamente á una cantidad fija i determinada, de manera que su diferencia con ella sea muy pequeña, dicha cantidad fija es el límite de la variable.” [BERGERON, MS, pág. 2]

#### Funciones continuas

“... la fonction  $f(x)$  restera continue par rapport à  $x$  entre les limites données, si, entre ces limites, un accroissement infiniment petit de la variable produit toujours un accroissement infiniment petit de la fonction elle-même.” [CAUCHY, 1821, pág. 43]

<sup>14</sup>Por ejemplo, en la biblioteca de Matemáticas, Física y Estadística de la Universidad Nacional de Colombia, en Santafé de Bogotá, se conservan copias de los dos tomos de la cuarta edición (1837) del libro de L.-B. FRANCOEUR *Cours complet de mathématiques pures*.

“De ordinaire si la curva es continua; es decir que  $x$  variando por grados insensibles,  $y$  varia tambien de ese modo,  $y$  es entonces función continua de  $x$ ” [BERGERON, MS, pág. 2]

#### Infinitos

“On dit qu'une quantité variable devient infiniment grande, lorsque sa valeur numérique croît indéfiniment de manière à converger vers la limite  $\infty = \Omega$ .” [CAUCHY, 1821, pág. 38]

“[Si] Una cantidad puede creciendo siempre pasar por toda magnitud dada, entonces se le llama infinitamente grande, se expresa por las notaciones  $\infty$  i por  $\frac{M}{0}$ .” [BERGERON, MS, pág. 3]

#### Derivada

“Cette limite

$$\left[ \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{i \rightarrow 0} \frac{f(x+i) - f(x)}{i} \right]$$

lorsqu'elle existe, a une valeur déterminée pour chaque valeur particulière de  $x$ ; mais elle varie avec  $x$ ... on donne à la nouvelle fonction le nom de fonction dérivée, et on la désigne à l'aide de'un accent, par la notation  $y'$  ou  $f'(x)$ .” [CAUCHY, 1823, págs. 22-23]

“El objeto del calculo diferencial es determinar para cada función el límite de la razón del aumento de la función al de la variable, cuando este último disminuye a *cero*. / Este límite que depende únicamente del valor arbitrario [*sic*] de  $x$  se llama la derivada de la función propuesta...” [BERGERON, MS, pág. 4]

#### Diferencial

“Soient toujours  $y = f(x)$  une fonction de la variable indépendant  $x$ ;  $i$  une quantité infiniment petite, et  $h$  une quantité finie. Si l'on pose  $i = \alpha h$ ,  $\alpha$  sera encore une quantité infiniment petite, et l'on aura identiquement

$$\frac{f(x+i) - f(x)}{i} = \frac{f(x+\alpha h) - f(x)}{\alpha h},$$

d'où l'on conclura

$$\frac{f(x+\alpha h) - f(x)}{\alpha} = \frac{f(x+i) - f(x)}{i} \cdot h. \quad (1)''$$

[CAUCHY, 1823, pág. 27]

“Sea  $y = f(x)$ , se tiene dando a  $x$  un valor positivo o negativo,  $y + k = f(x + h)$  el límite de  $\frac{k}{h}$  es  $y'$ ; luego

$\text{Lim} \left( \frac{k}{h} \right) = y' + \alpha$ ,  $\alpha$  es función de  $x$  i de  $h$  que se acerca a 0 i se vuelve nula con  $h$ .  $k = y'h + \alpha \cdot h$ . El aumento  $k$  de la función  $y$  se compone de dos partes

distintas, la primera  $y'h$  es el producto de el aumento de la variable independiente por la derivada de la función, llamada su diferencial designándola por *dif.  $dy = y'h$ .*" [BERGERON, MS, pág. 6] .

También existen similitudes entre muchas partes del MS y algunas del *Resumé des leçons sur le calcul infinitésimal* de CAUCHY [1823]. Sobre ellas volveremos en detalle en un trabajo posterior, más minucioso.

Teniendo en cuenta lo anterior es muy posible que, entre sus maletas, BERGERON trajese ejemplares de los mencionados cursos de CAUCHY, cuya difusión y uso como libros de consulta eran comunes en Francia, y los usase en la preparación de su curso. Por otra parte, un examen de los libros comprados para el *Colejio*, nos permitirá posteriormente una comparación más amplia con otras probables fuentes del curso.

El manuscrito aparece dividido en la siguiente forma:

#### Lección primera

- [Sin título]
- Representación geométrica de las funciones de una sola variable

- Orígenes del cálculo diferencial
- Objeto del cálculo diferencial

#### Lección segunda

- Determinación del sentido en que varía una función según el signo de la derivada

- Aplicación a la función  $y = \frac{1}{3}x^3 - 2x^2 + 3x + 1$  i a la curva que representa

- Vamos a tratar de la diferenciación de función de funciones

- Diferenciación de sumas i diferencias de funciones
- Producto de dos funciones
- Producto de 3 funciones
- Producto de varias funciones
- Cociente de 2 funciones
- Potencia de una función  $y = u^m$
- Exponente fraccionario  $y = u^{p/q}$
- De las expresiones imaginarias

#### Lección tercera

- Aplicación del cálculo a la determinación de curvas que tienen ciertas propiedades

- Funciones compuestas de varias funciones de la variable independiente  $x$

- De las series

- Ejemplos de series convergentes

#### Lección cuarta

- [Sin título]
- Diferenciación de las funciones trascendentes
- Aplicaciones

## Bibliografía

- Albis, Víctor & Clara H. Sánchez** 1997. *Conservación del patrimonio matemático nacional. Lecturas Matemáticas* 18, 83-93.
- Albis, Víctor** 1998. *A falta de una iconografía de Aimé Bergeron*. Rev. Acad. Colombiana Ci. Ex. Fi. Nat. 22, 587-590.
- Bateman, Alfredo** 1972. *Páginas para la ingeniería en Colombia*. Bogotá: Editorial Kelly.
- Bergeron, Aimé** 1848. *Lecciones de matemáticas. Parte primera. Aritmética*. Bogotá: Imprenta de Ancizar.
- Castro Chadid, Iván** 1997. *Pasado, presente y futuro del cálculo en Colombia*. ISBN 958-95677-2-X. Santafé de Bogotá: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Cauchy, A.-L.** 1821. *Cours d'analyse de l'École Royale Polytechnique*. Paris: de Bure = *Oeuvres complètes*, Série 2, vol. 3. Paris: Gauthier-Villars, 1897.
- Cauchy, A.-L.** 1823. *Resumé des leçons sur le calcul infinitésimal*. Paris: de Bure = *Oeuvres complètes*, Série 2, vol. 4. Paris: Gauthier-Villars, 1899.
- Lértora Mendoza, Celina A.** 1995. *Fuentes para el estudio de las ciencias exactas en Colombia*. Colección Enrique Pérez Arbeláez, No. 9. ISBN 958-9205-14-3. Santafé de Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Liévano, Indalecio** 1856. *Tratado de aritmética*. Bogotá.
- Liévano, Indalecio** 1871. *Investigaciones científicas*. Bogotá: Focion Mantilla.
- Liévano, Indalecio** 1875. *Tratado de álgebra*. Bogotá: Focion Mantilla.
- Perry Zubieta, Gustavo** 1973. *Apuntes para la historia de las ciencias básicas en Colombia*. Rev. Acad. Colombiana Ci. Ex. Fi. Nat. 14 (1973), 5-32.
- Pombo, Lino de** 1850. *Lecciones de geometría analítica*. Bogotá: Imprenta de El Día.
- Pombo, Lino de** 1858. *Lecciones de aritmética y álgebra*. Bogotá: Imprenta de la Nación.
- Safford, Frank** 1976. *The Ideal of the Practical. Colombia's Struggle to Form a Technical Elite*. Latin-American Monographs, No. 39. Austin & London: University of Texas Press.

# ICONOGRAFÍA FITOPATOLÓGICA COLOMBIANA

por

Pablo Buriticá Céspedes\*

## Resumen

**Buriticá, P.:** Iconografía fitopatológica colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23**(86): 81-95. 1999. ISSN 0370-3908.

Se da a conocer una serie de dibujos relativos a enfermedades de plantas, realizados entre 1940 y 1944, por el servicio de Sanidad Vegetal Colombiano. Las láminas se han agrupado bajo el título "Iconografía Fitopatológica Colombiana". Se hacen comentarios relativos al origen, contenido e importancia para la historia de la fitopatología nacional.

**Palabras claves:** Fitopatología, Iconografía científica, Colombia.

## Abstract

A collection of pictures done by Sanidad Vegetal Colombiana between 1940 and 1944, is rescued and named Iconografía Fitopatológica Colombiana. Information is presented related to its origin, content, and importance for the history of plant pathology.

**Key words:** Phytopathology, Scientific iconography, Colombia.

La Fitopatología tiene como último propósito, contribuir a que los cultivos produzcan en cantidad y calidad: productos alimenticios, y materias primas; y ciertas plantas se mantengan sanas para que nos adornen con paisaje, ornamento y regocijo, de acuerdo con las demandas propias al ser humano, en cada una de las regiones.

En la fitopatología nacional; se encuentra un ejemplo, del arte del dibujo, como parte integral de los es-

fuerzos por dejar plasmados registros y descripciones gráficas de las enfermedades de las plantas, circunstancia que se dio en los albores de la formación del servicio estatal de Sanidad Vegetal.

La educación superior en las ciencias agrícolas, consolidada en la Facultad Nacional de Agronomía, de Medellín; y la conformación del Servicio de Sanidad Vegetal de Colombia, hechos ocurridos en 1927, fueron la base para el estudio técnico-científico sobre la utilidad de las plantas.

Estos dos eventos, más el regreso al país del padre Enrique Pérez Arbeláez y su posterior vinculación al Ser-

\* Profesor Titular, I.A., Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

vicio de Sanidad Vegetal, para dirigir la sección de botánica, fueron pieza fundamental para los estudios botánicos y para la posterior creación en 1936 del Departamento de Botánica de la Universidad Nacional de Colombia.

En los inicios, el servicio de Sanidad Vegetal, del Ministerio de Industrias (luego de Economía), encontró en la gestión, de Pérez Arbeláez, gran apoyo al trasladarse a la Universidad Nacional, en donde operó, por algunos años. Nació allí una metodología de trabajo, que por sugerencia de Carlos Chardón y Rafael Toro (micólogos taxónomos de Puerto Rico, iniciadores de la fitopatología científica colombiana), incluía el dibujo de los especímenes en el Servicio de Sanidad Vegetal; el triunvirato formado por Enrique Pérez Arbeláez (Botánica)- Luis María Murillo (Entomología)- Antonio Miranda (Fitopatología), implementó un sistema de estudio de los problemas fitosanitarios, fundamentados en los estudios etiológicos de las enfermedades, el conocimiento de las plagas causadas por insectos y de las plantas hospedantes. Los estudios fitopatológicos y micológicos fueron continuados, entre otros, por Rafael Toro, Rafael Obregón Botero, Carlos Garcés Orejuela, Rafael Barrios Ferrer, Juan Orjuela Navarrete y Julia Guzmán Naranjo, quienes orientaron su trabajo hacia el estudio de los aspectos etiológicos de las enfermedades, y de sus agentes causales.

Los investigadores del Ministerio de Economía Nacional iniciaron, en el Instituto Botánico de la Universidad Nacional el Herbario Fitopatológico denominado por Garcés, "Herbario Instituto de Ciencias Naturales, Sección Fitopatología", por Obregón (1964) "Colección Ministerio de Agricultura" y posteriormente "Micoteca Tibaitatá" (Orjuela, 1965), colección que sirvió de referencia para el trabajo de Orjuela "Índice de enfermedades de plantas cultivadas en Colombia". Para dejar plasmado, lo observado, se vincularon dibujantes al equipo de trabajo, que bajo la dirección de los científicos, fueron recogiendo los detalles de las muestras, reproduciendo fielmente lo observado y dejando consignada en sus trazos, la prueba tangible de la enfermedad y sus patógenos.

La vinculación de dibujantes, al equipo de trabajo en el Instituto de Botánica y en la Sanidad Vegetal, se hizo entre 1940 y 1944, cuando el servicio de Sanidad permaneció en los predios de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá. La denominada, en este trabajo como Iconografía Fitopatológica Colombiana, no es otra cosa

que el redescubrimiento de esta obra y el reconocimiento de los dibujos correspondientes a esa época.

Al ser organizado el Ministerio de Agricultura, las colecciones tanto de plantas útiles, como de malezas, plantas silvestres, insectos dañinos, hongos fitopatógenos y plantas afectadas fueron divididas entre el Ministerio y el Instituto de Ciencias Naturales, en la Universidad Nacional de Colombia. Las colecciones de plantas, quedaron en la Universidad Nacional; los dibujantes y los investigadores quedaron adscritos al Herbario. Las colecciones de insectos económicamente importantes, especialmente las realizadas por L. M. Murillo, las colecciones de hongos fitopatógenos, los especímenes de referencia de enfermedades de las plantas, y los dibujos de ellos, pasaron al Ministerio de Agricultura. Los investigadores fitopatólogos y entomólogos, pasaron entonces a la Granja Experimental de "La Picota" en Usme (Cundinamarca). Los botánicos y los dibujantes, adscritos al Ministerio de Economía, continuaron en el Instituto y posteriormente fueron incluidos en la nómina de la Universidad.

Las colecciones entomológicas dieron origen al museo entomológico del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y hoy en día, se conocen como la Colección Luis María Murillo, bautizada en su honor y bajo el cuidado de CORPOICA; las colecciones de enfermedades de las plantas y de hongos fitopatógenos dieron origen a la Micoteca de Tibaitatá, que actualmente está abandonada.

En buena parte, la botánica sistemática moderna, se originó en el sector agropecuario, representado en las facultades de agronomía de la Universidad Nacional en Medellín y Palmira. El mayor desarrollo se logró en Bogotá, en el Instituto de Ciencias Naturales. Es oportuno recordar que Rafael Toro (Micólogo) y Emilio Robledo Correa (Médico) dieron origen al herbario de la Facultad Nacional de Agronomía (MEDEL), en Medellín en 1927. Enrique Pérez Arbeláez (Botánico) y César Uribe Piedrahita (Médico), iniciaron en 1932 lo que posteriormente sería el Herbario Nacional Colombiano (COL): con el apoyo de Rafael Toro (era el jefe de Pérez Arbeláez), como jefe del Departamento de Agricultura se dio importante impulso a su consolidación: con Hernando García Barriga, Roberto Jaramillo (Funcionarios del Ministerio de Industrias, después de Agricultura), Armando Dugand (Botánico), Gabriel Gutiérrez y Daniel Mesa Bernal (Ingenieros Agrónomos), se aseguró su continuidad; José Cuatrecasas (Botánico Español) trabajando para



FIGURA 1



FIGURA 2

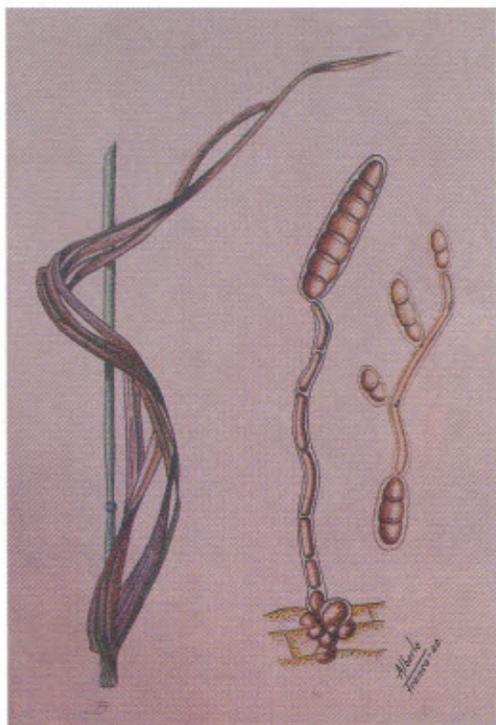


FIGURA 3



FIGURA 4



FIGURA 5

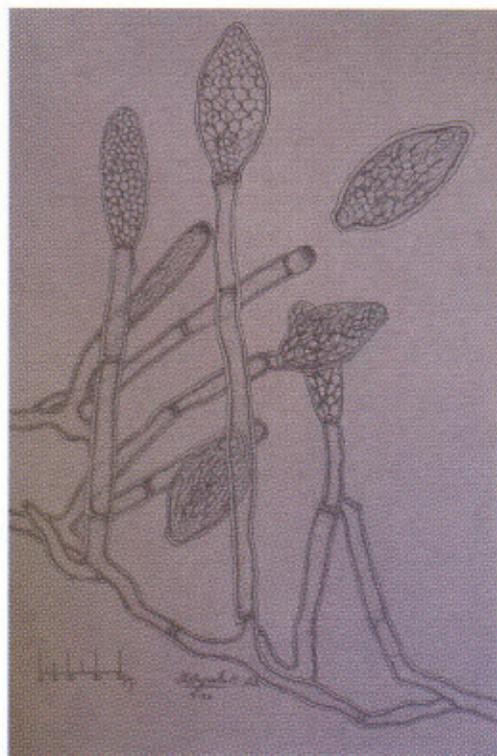


FIGURA 6



FIGURA 8

la Comisión Botánica del Valle, creó la base del herbario de la Facultad de Agronomía (VALLE), en Palmira, entre 1942 y 1947. Estos tres herbarios son considerados como los principales del país, y han sido fruto del apoyo constante de la Universidad Nacional de Colombia.

Los dibujos, del servicio de Sanidad Vegetal, plasmados en láminas a todo color y correspondientes a este periodo, fueron archivados en una carpeta, y así permanecieron en los anaqueles del Departamento de Investigaciones Agropecuarias (DIA) del Ministerio de Agricultura, pasando posteriormente al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Allí se conservaron hasta cuando a un "genial" administrador se le ocurrió quemar los archivos de papel heredados a esta última institución y "que solo estorban". De la pira levantada por la ignorancia, fueron rescatados tales dibujos por quien escribe estas notas, con el compromiso de "no decirle a nadie", pues indefectiblemente han debido ser incinerados. Ha pasado mucho tiempo desde entonces, y creo, un deber de patria, darlos a conocer a la comunidad científica y al país.

### Inventario de las láminas

La iconografía fitopatológica colombiana, como se denomina tal obra en este trabajo, corresponde a la labor artística de los dibujantes;

- Alberto Franco, con 24 láminas,
- Guillermo Varela, con 4,
- Nohemí Aguirre Suárez de Greiff, con 11,
- Inés de Zulueta y Cebiam, con 7; y
- Leonor Perilla, con una.

Once dibujos carecen de firma, pero sin lugar a dudas, pertenecen a la época y a la mano de alguno de los artistas citados. Se complementa con otros dibujos hechos por los propios fitopatólogos.

A las láminas originales se les ha asignado, en uno de sus extremos, un número romano para identificarlas y la descripción que se da a continuación tiene la correspondiente numeración. Para las láminas que contienen los dibujos de enfermedades y patógenos, se da la información consignada al pie de los dibujos; además, se adjunta un comentario sobre lo que el registro gráfico significa

para el historial de las enfermedades de las plantas, en Colombia.

Cada entrada corresponde a una lámina; se menciona el año de elaboración, cuando lo ha consignado el autor, pero, hay que recalcar que todas fueron hechas entre 1940 y 1944, tiempo en el cual permaneció la Sanidad Vegetal en el Instituto de Botánica de la Universidad Nacional de Colombia. Las láminas fueron hechas en hojas de papel de 40 X 30 cms., los dibujos coloreados al natural son de tamaño variable, y sin duda, son fiel copia de muestras vistas directamente o bajo el microscopio.

### Láminas de la autoría de Alberto Franco

**Lámina I.** 1940. Enrollamiento de la hoja y degeneración de la espiga del trigo. Primer registro de este problema en el país, no publicado hasta el presente y de etiología desconocida (efecto de herbicidas). Dibujo a color, reproduciendo fielmente el natural, de tamaño 16 X 10 cms.

**Lámina II.** 1940. Carbón desnudo, del trigo y de las esporas del patógeno. Enfermedad conocida desde el siglo pasado, primera figura del patógeno, en la historia del país. Dibujo conformado por dos espigas con síntomas de color natural, la de la izquierda muestra síntomas iniciales y la de la derecha, muestra la espiga una vez que los esporos han sido diseminados; en el centro los dibujos del patógeno, que constan de 5 esporos, cuatro de ellos en diferentes estados de germinación y uno de un espora en reposo. Fig. 1

**Lámina III.** 1940. Pie Negro del trigo. Primer registro de esta enfermedad en el país. Dibujo de una planta afectada, mostrando la parte del cuello de la planta, la raíz y el tercio inferior de la planta, todo en color natural. El dibujo es de 17 X 11 cms.

**Lámina IV-** 1940. Escaldado de la Hoja de la cebada y del patógeno. Enfermedad publicada como de presencia en Colombia, en 1960, por Sierra & Rico, (1960). De puño y letra en un aparte dice que el dibujo del patógeno es copia de uno correspondiente a Bartels; no se puede precisar si la copia es solo del patógeno o de la enfermedad. Por los colores asignados por el dibujante a la enfermedad, es muy probable que hayan sido copiados directamente de una muestra traída del campo. El dibujo consta de una hoja desprendida mostrando los síntomas, todo a color natural; de una hoja abrazando el tallo, con

síntomas y de color natural; de un corte transversal de la hoja mostrando el patógeno, en el cual, se han tratado de mostrar las hifas, la esporulación y los esporos, quedando de alguna manera muy esquemático y con colores fuera de lo real. Los tres dibujos ocupan 17 X 12 cms.

**Lámina V.** 1940. Desecamiento de la hoja de la cebada. Problema no registrado en Colombia, hasta ahora, y de causa desconocida. Dibujo de 17 X 7 cms., de colores naturales para los síntomas y la planta.

**Lámina VI.** 1940. Cebada con síntomas de Oidio o cenicilla y dibujo de los conidióforos y conidias del patógeno. Primer registro de esta enfermedad y del patógeno, en Colombia. Publicada su presencia en 1960, por Sierra & Rico, (1960). Lámina compuesta de dos dibujos: el primero de la planta tiene 18 X 8 cms. y el del patógeno 8 X 3 cms. Los dos de color natural. Fig. 2

**Lámina VII.** 1940. Quemazón de la hoja (*Helminthosporium gramineum*) de la cebada y registro de los conidióforos y conidias del patógeno. Primer registro de esta enfermedad en Colombia. Publicado en la literatura científica, en 1960, por Sierra & Rico (1960). Lámina compuesta por tres dibujos\_ a la izquierda, plantas de cebada con una hoja afectada y una sana, dibujo de 17 x 7 cms. de tamaño y a la derecha dos dibujos: conidioforo y conidia del patógeno unida a él, de 13 x 3 cms., al lado más de la derecha, conidio en germinación mostrando esporos secundarios, de 8 x 2 cms., todos con colores naturales. Fig. 3

**Lámina VIII.** 1940. Carbón desnudo de la cebada y esporos del patógeno. Enfermedad conocida desde 1929. Lámina que consta de tres dibujos. A la extrema izquierda espiga de cebada con síntomas iniciales de la enfermedad, dibujo de 17 x 5 cms. y a la derecha dibujo de una espiga en la cual ya se ha iniciado la diseminación de los esporos, tiene 15 x 1 cms., todas ellas tienen color natural. Fig. 4

**Lámina IX.** 1940. Roya negra del tallo de la avena. El patógeno fue conocido desde 1803 por Francisco José de Caldas, pero su registro en Avena solo se hizo en 1929. Lámina con dos dibujos, a la izquierda una porción de tallo y hoja, con síntomas de la enfermedad, de 17 X 7.5 cms., a la derecha una porción de tallo con sintoma de la enfermedad, tiene 10.5 X 1 cms., todos de color natural.

**Lámina X.** 1940. *Rhizoctonia solani* en tallos y tubérculos de papa, incluye las hifas del patógeno y los

esclerocios. Enfermedad conocida y registrada desde 1937. Lámina compuesta de 6 dibujos, al extremo izquierdo dos dibujos uno encima de otro, mostrando síntomas en la base del tallo y el follaje, los dos ocupan 18.5 X 9 cms.; en el centro dos dibujos mostrando síntomas en los tubérculos, el de arriba resaltando los esclerocios, el de abajo tubérculo en germinación mostrando síntomas en los tallos emergentes, ocupan 12.5 X 8.5 cms. y los del extremo derecho que son dos dibujos, el de arriba muestra la trama del tejido fungoso en el esclerocio y el de abajo la trama de hifas, ocupan 11.5 X 6 cms., todos ellos con colores al natural. Fig. 5, 6, 7 y 8.

**Lámina XI.** 1940. Roña de la papa y esporos del patógeno. Primer dibujo del patógeno. Enfermedad registrada en 1927. Lámina compuesta de dos dibujos. a la izquierda base del tallo, con estolones y tubérculos adheridos, mostrando los síntomas de la enfermedad, ocupa 15.5 X 12.5 cms., a la derecha dibujo de una célula con los esporos en su interior, ocupa 6 X 4 cms., todos a color natural. Fig. 9

**Lámina XII.** 1940. Tubérculos aéreos de la papa. Primer registro de estos síntomas. Lámina con dos dibujos. a la izquierda porción de un tallo, con tubérculos aéreos incipientes, ocupa 17.5 X 6 cms., a la derecha, los mismos síntomas con tubérculos más desarrollados, ocupa 24 X 8 cms., todos de color natural. Fig. 10

**Lámina XIII.** 1940. Fruto seco de la chirimoya. Primera evidencia nacional de una enfermedad en este cultivo. Probablemente, es la conocida hoy en día, como "mal de hilachas". Lámina de un fruto de chirimoya adherido y colgando de una rama y con síntomas de la enfermedad, ocupa 18 X 11 cms. Todo a color natural. Fig. 11

**Lámina XIV.** 1940. *Zignoella annonicola* Speg. (?) hongo encontrado sobre chirimoya. Primer registro de este organismo, citado por Orjuela en 1965. Lámina compuesta de dos dibujos, a la izquierda un grupo de cuerpos fructíferos del patógeno, a la derecha uno aislado. ocupan 10 X 5.5 cms., todos de color natural. Fig. 12

**Lámina XV.** 1940. Goma del ciruelo. Primer registro de esta enfermedad. Dibujo único de una porción de tronco, con 25 X 6.5 cms., coloración al natural. Fig. 13

**Lámina XVI.** 1940. Sigatoka amarilla (o mancha cordana ?), en *Musa sp.*. La Sigatoka fue registrada en 1935. Dibujo único de una porción de hoja con los sín-



FIGURA 9



FIGURA 10



FIGURA 11

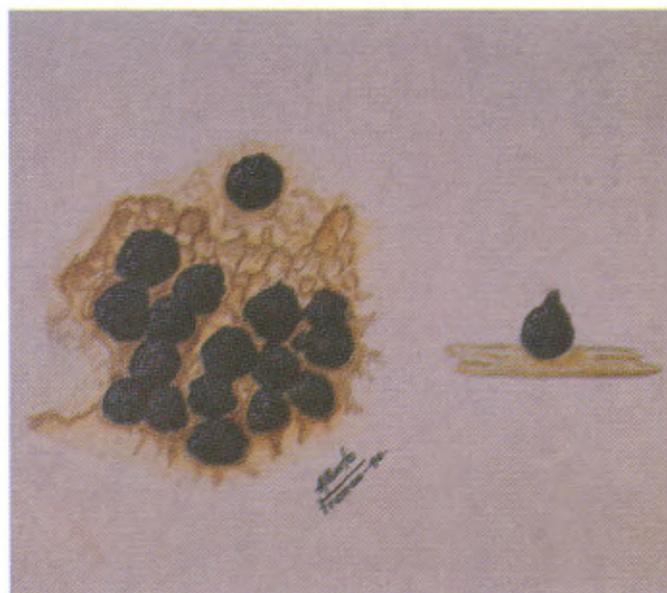


FIGURA 12



FIGURA 13



FIGURA 14

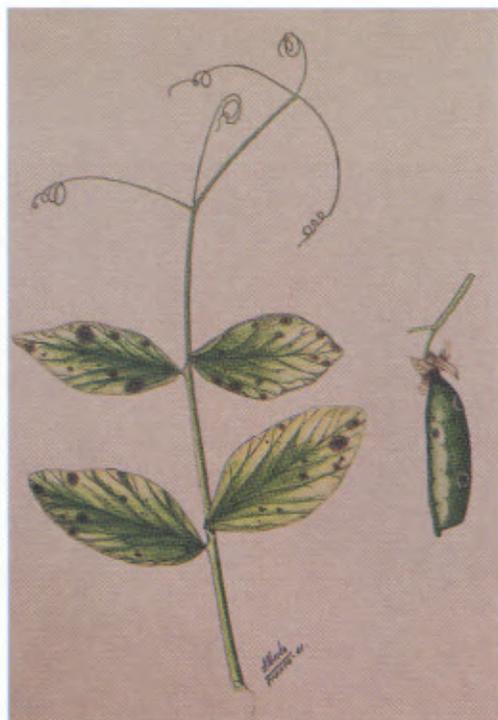


FIGURA 15

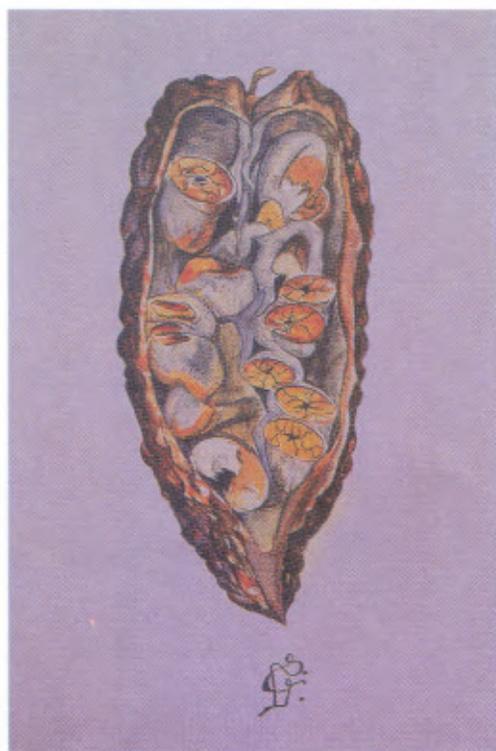


FIGURA 16

tomas, ocupa 17 X 16.5 cms., todo al color natural. Fig. 14.

**Lámina XVII.** 1940. Enfermedades producidas por: *Cercospora ingae* Obregón-Botero, *Cercospora ulmifoliae* Obregón-Botero, *Cercospora sapindi* Obregón-Botero y dibujo de fique con manchas redondas con puntos concéntricos, probablemente de *Cercospora fourcroyae* Obregón-Botero. Lámina de especial interés y valor científico, pues son los iconotipos de las especies nuevas, descritas por Obregón-Botero, en 1941. Lámina con 4 dibujos, al extremo izquierdo hoja de guamo (*Inga sp.*) con los síntomas de la enfermedad, tiene 13 X 5.5 cms.; le sigue hoja de ulmo, con síntomas de la enfermedad, tiene 14.5 X 6.5 cms.; le sigue hacia la derecha, hoja de jaboncillo con los síntomas de la enfermedad, de 11 X 4.5 cms. y finalmente al extremo derecho, hoja de fique con los síntomas de la enfermedad, tiene 9.5 X 6 cms., todos ellos tienen colores naturales.

**Lámina XVIII.** 1941. Síntomas producidos por *Bacterium atrofasciens* en trigo. Primer registro de esta enfermedad en Colombia. Lámina con un solo dibujo del tercio superior de una planta de trigo, mostrando los síntomas de la afección en la espiga y la hoja bandera, tiene 21 X 7 cms., los colores son naturales.

**Lámina XIX.** 1941. Arañera del café y rizomorfos del patógeno. Enfermedad conocida desde 1929. Dibujo único de hojas secas colgando de una rama y mostrando los rizomorfos blancos del patógeno, ocupa 13 X 15 cms., todo de color natural.

**Lámina XX.** 1941. Enfermedad producida por *Cercospora oryzae* Miyake, en arroz. Enfermedad registrada, en 1940, en el Valle del Cauca. Lámina que consta de dos dibujos, a la izquierda, el tercio superior de una planta de arroz, mostrando la panoja y las hojas superiores con síntomas de la enfermedad, ocupa 21 X 21 cms., a la derecha una porción de una lámina foliar, con síntomas de la enfermedad, ocupa 6.5 X 2 cms., todos dos, de color natural.

**Lámina XXI.** 1941. Llaga del tallo del *Pyrus sp.*. Primer registro de esta enfermedad. Dibujo único mostrando los síntomas de la enfermedad, ocupa 15 X 3 cms., colores al natural.

**Lámina XXII.** 1941. Enfermedad producida por *Ascochyta pisi* Lib., en alverja. Dibujo hecho del material que dio lugar al registro escrito, elaborado por Orjuela

en 1940. Lámina con dos dibujos, a la izquierda, parte superior de una planta de alverja con los síntomas, ocupa 20 X 10 cms., a la derecha, vaina adherida a su ramita, con síntomas de la enfermedad, ocupa 8 X 2 cms., todos de color al natural. Fig. 15.

**Lámina XXIII.** 1941. Sigatoka amarilla del banano, conidiofóforos y conidiosporos del patógeno. Enfermedad conocida en Colombia, desde 1935. Lámina que consta de tres dibujos, arriba, hoja de banano con los síntomas de la enfermedad, ocupa 21 X 6.7 cms., abajo a la izquierda, sección de la lesión mostrando los conidiofóforos, ocupa 5.5 X 5.5 cms., abajo a la derecha, tres esporos del organismo patógeno, ocupan 5.5 X 7 cms., todos de colores naturales.

**Lámina XXIV.** 1941. Roya de la hoja de la avena, *Puccinia coronata*, teliosporos y uredosporos del patógeno. Enfermedad conocida desde 1929, primer dibujo del patógeno. Lámina que consta de cuatro dibujos, agrupados de dos en dos, a la izquierda, hoja bandera de avena con porción de tallo, con los síntomas producidos por el anamorfo de la roya y al lado un corte transversal del uredosoro, mostrando los esporos, ocupan 18 X 10.5 cms.; a la derecha porción de tallo con hojas adheridas, una de ellas completa, mostrando los síntomas del estado de teliosoro, al lado sección transversal mostrando la organización interna del teliosoro, ocupan 14 X 10.5 cms., todos de colores naturales.

#### Láminas de la autoría de Guillermo Varela:

**Lámina XXV.** s.f. Lámina con una hoja completa de fique, probablemente hecha con base en el tipo de *Cercospora fourcroyae* Obregón-Botero. Dibujo de una hoja de fique mostrando los síntomas de la enfermedad, de 33 X 8.5 cms., colores al natural.

**Lámina XXVI.** s.f. Lámina de una hoja de una orquídea con una lesión redondeada irregularmente, de bordes café y con puntos negros en el centro. Dibujo único de 24 X 6 cms., de colores al natural.

**Lámina XXVII.** s.f. Lámina que contiene dos dibujos de mazorcas de cacao seccionadas transversalmente y mostrando síntomas internos de desorganización de los granos y de una pudrición (Moniliasis ?, fitóptora ?, escoba de bruja ?). El dibujo de la izquierda tiene 14.5 X 5.5 cms., el de la derecha 15 X 7 cms., los colores son al natural. Fig. 16.

**Lámina XXVIII.** 1941. Dibujo de los síntomas de la enfermedad conocida como "peca" de la alfalfa y del patógeno. Enfermedad conocida y registrada por Toro en 1929. Lámina con dos dibujos, el de izquierda, es la parte terminal de una planta de alfalfa mostrando los síntomas de la peca, tiene 14 X 11 cms., el de la derecha, es un corte transversal de la hoja, mostrando las estructuras del patógeno, apotecio, ascas, ascosporos e hifas en el interior del tejido de la planta, tiene 7 X 6 cms., los colores de la planta son al natural, los del corte del patógeno, tratan de reproducir los colores naturales.

#### Láminas de la autoría de Inés de Zulueta y Cebiam

**Lámina XXIX.** s.f. Yema terminal de cacao deformada por la escoba de bruja. Enfermedad que había sido registrada en 1937. Dibujo único de una escoba seca, de 24 X 13 cms., colores naturales.

**Lámina XXX.** s.f. Hoja de fique con pudrición apical. Dibujo único de los síntomas, tiene 29 X 9 cms., color natural. Fig. 17.

**Lámina XXXI.** s.f. Mancha de anillo de las cápsulas del ajonjolí, *Cercospora sesami* Zim. Primer registro de esta enfermedad en Colombia. Lámina con tres dibujos de cápsulas de ajonjolí, mostrando distintos tipos de síntomas, cada cápsula tiene entre 3 y 3.5 X 1 - 1.4 cms., colores al natural.

**Lámina XXXII.** s.f. Mancha anillada en hojas de fique. Se adjunta la fotografía del original en el campo. Dibujo único de la parte terminal de una hoja mostrando los síntomas, tiene 24 X 7.5 cms., color natural. Fig. 18.

**Lámina XXXIII.** s.f. Manchas ovaladas de bordes café, sobre una hoja que probablemente es de una leguminosa. Dibujo único de 11.5 X 6 cms., color natural.

**Lámina XXXIV.** s.f. Lámina con un dibujo de una liliaceae, mostrando un brote entero, tiene 27 X 6 cms., colores al natural.

**Lámina XXXV.** s.f. Hoja de caña de azúcar con síntomas de *Phytomonas rubrilineans* y dibujo de la bacteria. Dibujo que le sirvió a Orjuela N. (1946), para ilustrar el registro de esta enfermedad, en Colombia. Dibujo de 16 X 5 cms., color natural.

Láminas de la autoría de Nohemí Aguirre Suárez de de Greiff

**Lámina XXXVI.** 1942. Dibujo de una planta desconocida, completamente deformada con síntomas de mosaico. Dibujo único de 29 X 25 cms., color natural. Fig. 19.

**Lámina XXXVII.** 1942. Hoja de yuca con síntomas de cenicilla (Mildeo polvoso). Enfermedad registrada por Orjuela, en 1965. Dibujo único de 22 X 19 cms., color natural.

**Lámina XXXVIII.** 1942-1943. Lámina con dos dibujos, uno correspondiente a escoriaciones del fruto del pero (1943) y otro (1942) con una hoja de durazno con torque o enrollamiento ("Fruncimiento"). Esta última enfermedad fue registrada en la Sabana de Bogotá, en 1929. El primer dibujo a la izquierda, es de un fruto de pero, tiene 5.2 X 4.6 cms., color al natural, el de la derecha es de una ramita con tres hojas de durazno, con síntomas de la enfermedad, tiene 15 X 10.5 cms., color natural.

**Lámina XXXIX.** 1943. Fruto de pero (?) con escoriaciones (roña?). Es casi fiel copia del descrito en la lámina 38, tiene 5.2 X 5 cms., color al natural.

**Lámina XXXX.** s.f. Hoja de fresa con manchas cenizas, de bordes rojos y centro blanco; dibujo del anamorfo del patógeno. Enfermedad conocida como la peca de la fresa. Primer registro para esta enfermedad en el país. Publicada su presencia en 1944. Lámina con dos dibujos, a la izquierda una hoja trifoliada de fresa, con los síntomas de la enfermedad, tiene 15 X 7 cms., color al natural; a la derecha, una sección transversal del anamorfo del patógeno, mostrando esquemáticamente conidioforos y conidiosporos, tiene 9 X 6.5 cms., colores muy similares al natural.

**Lámina XXXXI.** s.f. Fruto, hoja y célula de tomate afectada por la gota, esporangióforos y esporangios del patógeno. Enfermedad conocida en el Valle del Cauca desde el reconocimiento hecho por Chardón en 1930. Lámina con cuatro dibujos, tres hacia la parte superior y uno hacia abajo, a la izquierda superior una célula con hifas del patógeno penetrándola, muy esquemático, tiene 9.5 X 9 cms., colores no naturales aun cuando tratan de reproducirlos; en el centro superior, un fruto de tomate afectado, mostrando los síntomas, tiene 5.3 X 5 cms., color natural; arriba a la derecha, hoja compuesta de tomate con síntomas de la enfermedad, tiene 12 X 9 cms., color natural; abajo, un esporangióforo

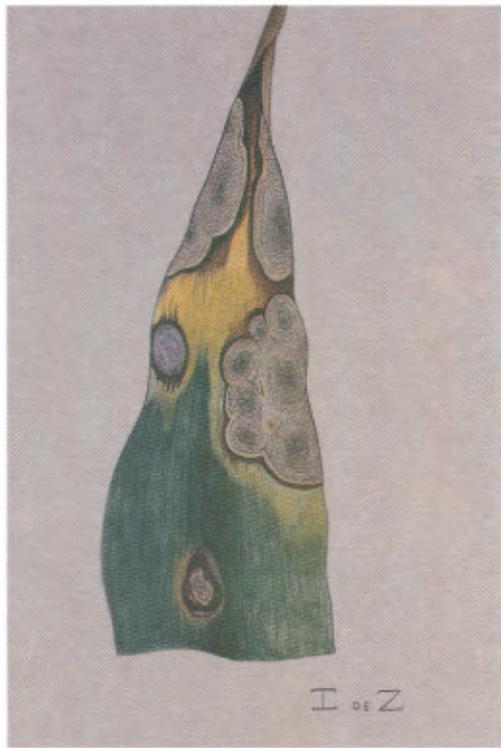


FIGURA 17



FIGURA 18



FIGURA 19

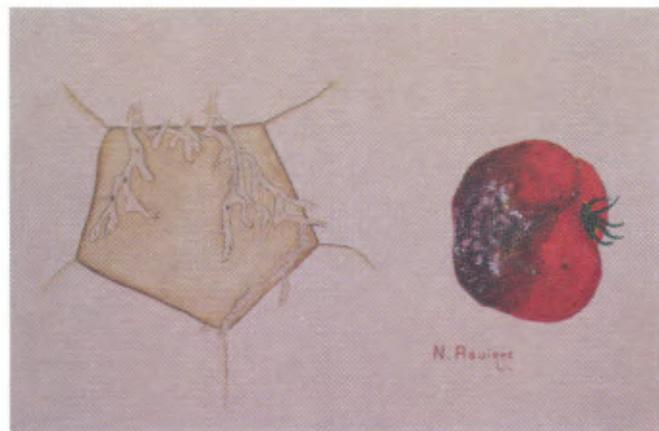


FIGURA 20

magnificado del organismo, tiene 12 X 9 cms., de color blanco. Fig. 20 y 21.

**Lámina XXXXII.** s.f. Mildeo pulverulento del rosal en hojas y botones florales, dibujo de los conidióforos y conidias del patógeno.

Enfermedad colectada por Mayor y organismo identificado por Sydow en 1914, para la flora colombiana. Lámina con tres dibujos, a la izquierda arriba, una hoja trifoliada de rosa y un botón floral, con síntomas típicos del mildeo polvoso y con la esporulación del hongo, tiene 11 x 10 cms., color natural; a la izquierda abajo, conidióforos con esporos y esporos sueltos, del organismo causal, el dibujo en su conjunto tiene 9 X 8 cms., de color blanquesino tratando de reproducir el natural; al extremo derecho, una hoja con cinco foliúlos de rosa, mostrando los síntomas por el haz, tiene en su conjunto 14 X 9.5 cms., de color natural.

**Lámina XXXXIII.** s.f. Parte de un tronco o rama con un hongo. El dibujo permite saber, sin lugar a dudas, que se trata de *Schizophyllum commune*, tiene 22 X 4.5 cms., y es de color natural.

**Lámina XXXXIV.** s.f. Planta de tabaco con mosaico. Enfermedad registrada por Chardón & Toro, en 1927. Dibujo con 35 X 21 cms., de color natural. Siendo el mosaico un síntoma que describe la alternación de colores en las hojas, la lámina logra el efecto con gran fidelidad.

**Lámina XXXXV.** s.f. Hoja de gramínea con manchas alargadas de bordes negros. La planta es probablemente caña de azúcar y la enfermedad la producida por *Leptosphaeria* sp.. Enfermedad registrada por Orjuela en 1965. Dibujo único de 21.5 X 7 cms. color natural.

**Lámina XXXXVI.** s.f. Hojas de rosa con roya, teliosporo y uredosoro con uredosporos, del patógeno. Enfermedad conocida desde la exploración de Mayor (1913). La lámina consta de cuatro dibujos; al extremo izquierdo una hoja compuesta de rosa con los signos de la enfermedad, tiene 18 X 10.5 cms., el color es natural; en el centro arriba, un foliúlo de la hoja mostrando los signos del patógeno en el envés, tiene 7.5 X 3.5 cms., color natural; en el centro abajo, teliosporo del organismo, tiene 9.2 X 1.5 cms., color natural; al extremo derecho corte transversal de una hoja, mostrando el uredosoro, con parafisos y uredosporos, tiene 5.5 X 4.3 cms., color muy semejante al natural. Fig. 22.

## Lámina de la autoría de Leonor de Perilla

**Lámina XXXXVII.** s.f. Hoja con manchas lineares blanquesinas. Las hojas probablemente son de caña de azúcar. Dibujo único de 14.3 X 10.5 cms., colores que tratan de reproducir el natural.

Carecen de fecha y de autor las siguientes láminas:

**Lámina XXXXVIII.** Un fruto entero de limón y otro partido a la mitad, mostrando una mancha negra que penetra al interior. Es imposible, en este momento decir de que se trata. El dibujo de la izquierda, o sea la mitad de un fruto de limón, tiene 5.6 X 5.2 cms., siendo de color natural; el de la derecha, o fruto entero, tiene 7 X 5.5 cms., es de color natural.

Cuatro láminas identificadas en la parte superior como de la Estación Agrícola Experimental "La Picota" y bajo el título "Enfermedades de la Cebada" y numeradas como cuadros:

**Cuadro I.** Hoja de cebada con la enfermedad producida por *Marssonina secalis* Oud. Son dos dibujos: a la izquierda una porción de hoja con los síntomas, tiene 14 X 2.5 cms., tiene colores naturales; a la derecha una hoja adherida al tallo, con los síntomas, tiene 13 X 6.2 cms. y color natural.

N.B. Se desconoce el cuadro número 11.

**Cuadro III.** Hoja de cebada con mildeo pulverulento o cenicilla. Dibujo de una hoja adherida a una porción de tallo, con los síntomas de la enfermedad, tiene 16.5 X 10 cms., y color natural.

**Cuadro IV.** Roya de la hoja de la cebada. Probablemente *Puccinia hordei*. De ser correcta la denominación, este sería el primer registro de esta roya en Colombia. Tan solo fue registrada su presencia en 1996, por Buriticá & Pardo-Cardona (1996). Dibujo de una sola hoja con los síntomas de la enfermedad, tiene 17.5 X 2.3 cms. y color natural.

**Cuadro V.** Hoja de cebada con roya, marcada como *Puccinia dispersa*. De ser correcta la identificación sería el primer registro de esta roya en cebada y que hoy se conoce como *Puccinia recondita*. Dibujo único de una hoja, con 17.8 X 2 cms., y de colores naturales.

**Lámina II.** Hoja de trigo con roya. A no dudarlo se trata de *Puccinia graminis*. Dibujo de una hoja ad-

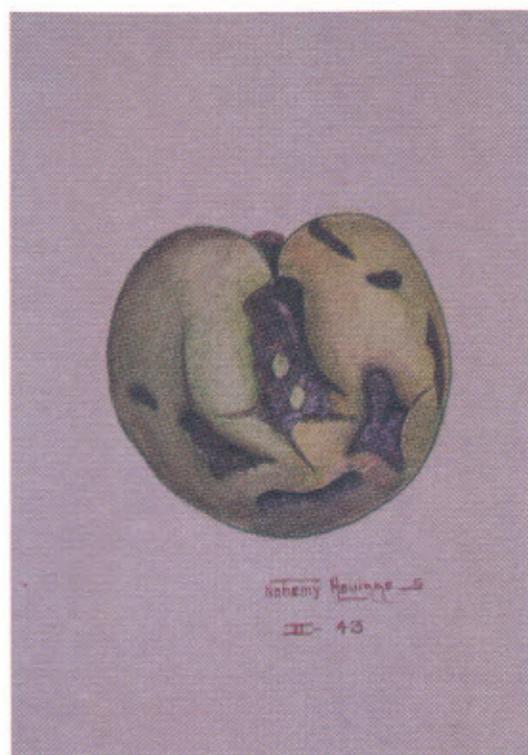


FIGURA 21



FIGURA 22

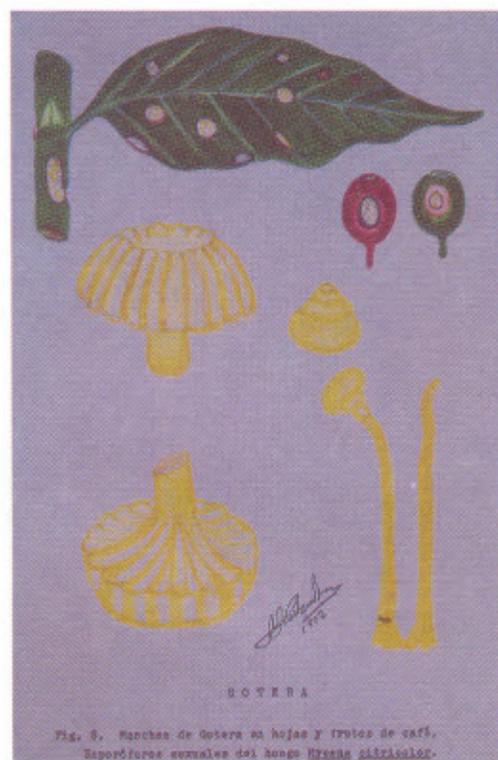


Fig. 9. Manchas de Ootera en hojas y frutos de café.  
Esporangios sexuales del hongo *Ootera silvicolae*.

FIGURA 23

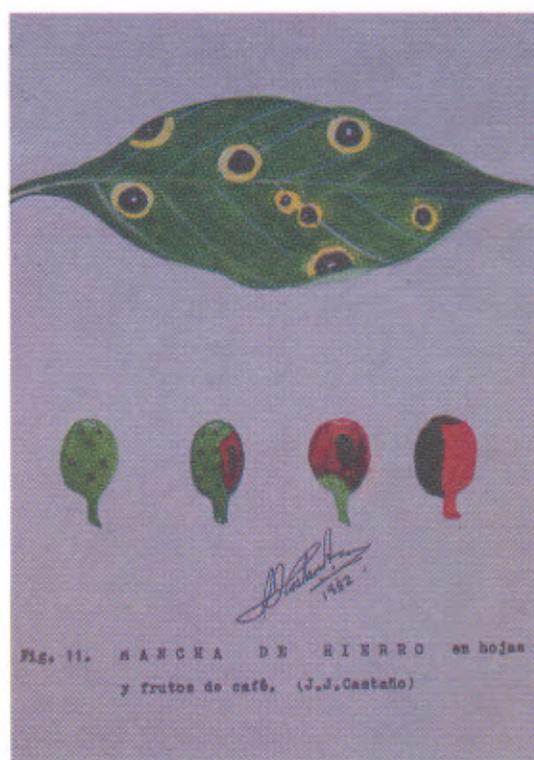


Fig. 11. MANCHA DE RIERRO en hojas  
y frutos de café. (J.J.Castaño)

FIGURA 24

herido a una porción de tallo, mostrando los signos de la enfermedad, tiene 15.5 X 5.3 cms. y colores naturales.

**Lámina L.** Hoja de *Gliricidia saepium* con *Cercospora atropurpurascens*. Registrada por Orjuela, 1965. Dibujo de una hoja compuesta de la leguminosa citada, con síntomas de la enfermedad, tiene 19 X 10 cms. y color natural.

**Lámina LI.** Hoja y rama de alfalfa con un mildew vellosa. Registrado por Orjuela, en 1965. Lámina con dos dibujos, el de la izquierda, una rama terminal de alfalfa con los síntomas de la enfermedad en el haz, tiene 15 X 8.5 cms y color natural; a la derecha una hoja trifoliada de alfalfa con los síntomas en el envés, tiene 6 X 6 cms, y color natural.

**Lámina LII.** Fruto de pero con quarteaduras. Primera evidencia de este problema en el país. Un solo fruto de pero con los síntomas, tiene 11 X 6 cms. y color natural.

**Lámina LIII.** Hoja de papa y dibujo de los teliosporos de la roya. Enfermedad conocida en Colombia, desde 1930. Este dibujo se encuentra sin terminar, por ello, ha resultado muy interesante, ya que para los expertos ha permitido descifrar parte de la técnica del dibujo que ha sido usada, tiene 15.5 X 10 cms.. En la parte derecha a lápiz se encuentran los esporos del hongo.

**Lámina LIV.** Dibujo de dos hojas de algodón con cenicilla, dibujo del organismo patógeno de J. Orjuela Navarrete, hecho en 1944, y que ilustró la publicación hecha por el mismo autor, en 1945, de esta enfermedad. La hoja superior muestra los síntomas por el haz, tiene 13.5 X 8.2 cms. y color natural; la hoja inferior muestra los síntomas por el envés y tiene 13.5 X 8.3 cms. y es de color natural. El organismo patógeno está dibujado con plumilla y muestra conidióforos y conidiosporos, tiene 21 X 15 cms. Registra la fecha de octubre de 1944. Primera prueba de la habilidad como dibujante del autor, que es mucho mejor conocido como científico fitopatólogo.

Se han incluido en esta iconografía los dibujos originales hechos por J.J. Castaño, en 1952, que le sirvieron para ilustrar su libro "Trayectoria de la fitopatología en Colombia", publicado en 1974. Ellos son:

- Manchas de gotera en hojas y frutos de café. Esporóforos sexuales del hongo *Mycena citricolor*. (Fig. 23) y

- Mancha de hierro en hojas y frutos de café. Fig. 24.

Estos últimos dibujos fueron obsequiados por J.J. Castaño, a el autor, que ha tenido el atrevimiento inconsulto, de incorporarlos a la Iconografía.

Según los expertos, los dibujos reproducidos fueron hechos con una técnica que consta en plasmar con acuarelas la base de colores y dejar los espacios de los detalles, que fueron hechos con pinceles finísimos de pelo de marta y plumilla, reproduciendo con gran pericia los detalles. La tinta usada fue de excelente calidad. Desafortunadamente el paso del tiempo ha alterado el papel que se encuentra algo deteriorado (el color amarillo de las fotocopias se debe al papel deteriorado), por lo cual, fue preciso hacer un tratamiento curatorial, para evitar el progresivo deterioro. Ya tratadas se pueden exhibir, a la luz directa.

#### A manera de conclusión

La información y las láminas dadas a conocer muestran una etapa desconocida del desarrollo científico, de la fitopatología y del arte del dibujo científico, que hace honor al inicio glorioso de estas ciencias, a los científicos que colectaron el material y orientaron la realización de la obra, así como, a los artistas que con exactitud la plasmaron en las láminas, las enfermedades de las plantas.

Desde el punto de vista del estudio de las enfermedades de las plantas, del estudio de los microorganismos fitopatógenos y de el registro de su presencia, en el territorio colombiano, se vuelven pieza histórica fundamental, por quedar en ellos, la evidencia de su existencia, en el territorio colombiano; algunas constituyen el primer registro de ciertas enfermedades y el iconotipo del registro de nuevas especies de patógenos.

#### Bibliografía citada

- Buriticá, P. & V.M. Pardo-Cardona.** 1996. Flora uredineana Colombiana. Rev. Acad. Colombiana Cienc. **20** (77): 183.
- Castaño, J.J.** 1978. Trayectoria de la fitopatología en Colombia (1951-1974). Ed. Letras, Medellín (Colombia), 164 pp.

- Chardón, C.E. & R.A. Toro.** 1930. Mycological explorations of Colombia. Jour. Agric. Porto Rico 14: 195.
- Mayor, E.** 1914. Contribution a l'etude des Uredinees de Colombie. En: Fuhrmann & Mayor. 1914. Voyage d'exploration scientifique en Colombie. Mem. Soc. Neuchatel Sci. Nat. 5: 442.
- Murillo, L.M.** 1957. 30 años de Sanidad Vegetal. Historia de una vida. Rev. Acad. Colombiana de Cienc. (sección editorial). 10 (39): V-XXII.
- Obregón B., R.** 1941. Cuatro nuevos deuteromicetos colombianos. Caldasia (Colombia) 1 (3): 49.
- Orjuela Navarrete, J.** 1945. El mildew polvoso del algodón en Colombia. Agricultura Tropical (Bogotá) 1(9): 51.
- . 1946. La enfermedad "red stripe" de las hojas de la caña de azúcar en Colombia. Suplemento Agronómico (Bogotá) 2: 23.
- . 1965. Índice de enfermedades de plantas cultivadas en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)-Oficina de Investigaciones Especiales (OIE). Bol. Tec. 11. 66 pp.
- Sierra, F., J.A. & E. Rico M.** 1960. Funza: una variedad mejorada de cebada. BAVARIA, Bogotá, 126 pp.

# INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE LA CIENCIA EN HOBBS

por

Mario Laserna

## Resumen

**Laserna, M.** Introducción a la teoría de la ciencia en Hobbes. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 23(86): 97-128, 1999, ISSN 0370-3908.

Se presenta una nueva interpretación del significado epistemológico que para Hobbes tenía el paradigma geométrico-demostrativo, como se presenta principalmente en su obra *Leviathan*, no solamente aplicado a las ciencias políticas y sociales sino a las ciencias en general. En esta concepción, la mente opera deductivamente sobre símbolos que son nombres de imágenes de objetos. Se relaciona este aspecto del pensamiento de Hobbes con la filosofía Kantiana y los desarrollos modernos de la lógica.

**Palabras claves:** Hobbes, filosofía de la ciencia, historia de la ciencia, método deductivo.

## Abstract

A new interpretation is given of the epistemological meaning that the deductive-geometric paradigm should have for Hobbes, as expounded in his work *Leviathan*, not only when applied to the socio-political sciences but applied to sciences in general. In this conception, the mind operates deductively on symbols which are essentially names of images of objects. This aspect of Hobbes' thought is related to Kantian philosophy and the modern developments of logic.

**Key Words:** Hobbes, philosophy of science, history of science, deductive method.

## 1. Idea de la filosofía de Hobbes y plan del presente estudio

A esta "exposición sobre la Teoría de la Ciencia en Hobbes" le he dado el título de "Introducción", no porque la considere apta para principiantes en el estudio de este pensador sino porque, presuponiendo familiaridad con los escritos en que el filósofo de *Leviathan* diserta sobre el método de la ciencia, me

limito a llevar a cabo una directa pero esquemática confrontación entre el texto hobbesiano y la manera como usualmente son expuestos e interpretados sus temas más sobresaliente. Mi intención es fijar coordenadas de interpretación a las cuales cualquier estudioso del tema podrá referir problemas específicos con el fin de ubicarlos dentro del sistema y, con algo de esfuerzo, lograr su comprensión. Lo cual no obsta para que, aún dentro de la brevedad, se puedan señalar tres

o cuatro principios sobre los cuales descansa el edificio conceptual y argumentativo hobbesiano. Principios a partir de los cuales, -tomados del texto y del contexto éste último tanto interno a Leviathan mismo, como externo y referido a los grandes temas de la época- se logra un atisbo sobre cuál sea el camino que conduce a una elucidación del problema, por una parte, por otra, en cuáles bifurcaciones conceptuales los intérpretes tradicionales han optado por una vía equivocada, la cual conduce al caminante a regiones ignotas, de una manera de pensar ajena a la del coherente y sistemático pensador de Malmesbury. Hablo de texto y contexto -éste último repito, tanto interno como externo- pues el problema al que Hobbes presenta una solución de extraordinario poder explicativo *no se refiere tan sólo al universo de la política* sino que pretende cubrir todo el campo del saber filosófico. Lo político constituye, con Leviathan, ciertamente, el puerto de llegada. Más aquél donde el pensamiento hobbesiano despliega sus velas y se lanza desafiante a un mar turbio y desconocido, es el mismo por donde navegan sus contemporáneos más ilustres, Descartes, Leibniz, Mersenne, Galileo e inclusive Newton, cuando intentan responder a la pregunta: ¿Cómo es posible un conocimiento científico de la naturaleza, del mundo de los objetos espacio-temporales? Solamente luego de haber sobreaguado en esas misteriosas y profundas aguas se atreve Hobbes a contestar la pregunta con que Leviathan, como respuesta, está indisolublemente unido. Así que los títulos reclamados por Hobbes a fama perdurable llegan a ser dos, y no tan sólo el de fundador de la política como ciencia. El punto de partida lo suministra una observación que se convierte en punto de arranque de todo su pensamiento: "Por qué una cosa aparece unas veces más grande, otras más pequeña, en veces cerca otras lejana, una vez de tal forma y otra vez de otra, es algo que hasta donde yo se, nadie ha aclarado de manera convincente aunque muchos han intentado hacerlo. Lo cual no me sorprende ya que *nadie tuvo el acierto de captar que la luz y el color son tan sólo imágenes dentro de nosotros y no atributos de las cosas*". Con estas afirmación Hobbes se atribuye, quizás mercedamente, haber descubierto el camino para desarrollar una teoría coherente del conocimiento científico. Y sobre ella, como veremos a lo largo de este escrito, construye su visión del método de la ciencia hasta llegar al hombre en su dimensión social, o sea, Leviathan.

Igual título a no caer jamás en el olvido de quienes cultivan la filosofía como saber que abarca la totalidad de nuestra experiencia del mundo tiene nuestro filósofo frente al problema, asociado a la filosofía kantiana, de

los límites del conocimiento; o frente al moderno positivismo o empirismo lógico nacido a orillas del Danubio a comienzos de esta centuria, la cual tan dramáticos cambios y logros ha alcanzado tanto en las ciencias de la naturaleza como en aquellas que trajinan con la existencia histórica.

Comprometido con brindar al lector una introducción a Hobbes en cuanto filósofo del conocimiento científico, he considerado oportuno dividir este estudio en tres partes, cada una dedicada a un tema fundamental de la filosofía de nuestro autor. Todo aquel que estudia con ánimo desprevenido y serio a Hobbes cobra, rápidamente, conciencia de que no se trata en esta original filosofía de descubrir hechos inesperados o totalmente nuevos. Su propósito revolucionario consiste en explicar hechos familiares, tanto del reino de la naturaleza como de la vida histórica, mediante la aplicación de un método nuevo, expuesto dentro de un lenguaje carente de pedantería u oscuridad *idiomática*. Propósito que, mantenido sin desfallecimiento a lo largo del texto, lleva fácilmente al lector a hacerse la ilusión de que ha captado a cabalidad el pensamiento del expositor. Así cae en una trampa de la cual es extremadamente difícil salir. Ocuriéndole, al olvidar que *"la verdad de nuestras afirmaciones depende de ordenar correctamente los nombres de las cosas"*, lo mismo que a un pajarillo caído en una celada. El hombre "al encontrarse enredado entre palabras como un pajarillo caído en una celada, entre más se esfuerza por salir, más se enreda". Con esta cita previene Hobbes al lector sobre algo que no debe olvidarse, y que yo me permito transmitirle y reafirmar: el texto literal es claro, más su significado hobbesiano, el contexto en que se da, por originarse en el más elevado grado de abstracción en razón del método empleado, es de una oscuridad desconcertante. Daré a continuación, una breve síntesis del tema que corresponde a cada uno de los tres capítulos. Tengo la esperanza de que así, como mínimo, lograra el lector captar con claridad las dificultades que encierra el pensamiento hobbesiano.

## 2. División temática

El primer capítulo trata del asunto de método tanto conceptualmente como en referencia a diferentes problemas que se presentan a los estudiosos de Hobbes, especialmente en lo que se refiere al método de la geometría. El concepto central de esta sección consiste en responder a la pregunta: ¿qué es ciencia?; ¿de dónde proviene su validez? Considerando la geometría como paradigma de ciencia la pregunta se convierte en: ¿De dónde proviene, cuál es la causa epistemológica del carácter científico de la geometría?

El segundo capítulo consiste en un desarrollo de los planteamientos anteriores por cuanto, habiendo establecido que la cientificidad de la geometría proviene de su uso riguroso y consciente del *método demostrativo*, se hace necesaria una definición de lo que debe entenderse por demostración dentro del pensamiento hobbesiano y el del movimiento científico del cual fue tomado; y que era el aceptado en su época por las grandes figuras del pensamiento, aunque no estuviera claramente definido. La dificultad está en que, a fin de demostrar que la demostración conduce a la ciencia, la demostración debe validarse a sí misma. O sea, mostrar que su uso conduce a juicios de validez apodíctica e intersubjetiva. Característica compartida por los de la geometría, y los de la física galileana. Y que Hobbes pretende hacer extensiva a los que tratan del hombre en sociedad. En esta parte, por consiguiente, se responde a la pregunta hobbesiana kantiana ¿Cómo son posibles los juicios con validez intersubjetiva, tal como aparecen en la ciencia? La respuesta, enunciada en el capítulo anterior pero explicada de tal manera que no deje dudas sobre su significado, en éste es: Porque el lenguaje, empleado correctamente, o sea demostrando relaciones de necesidad entre un juicio antecedente y un juicio consecuente, garantiza la verdad de tales juicios. Esta verdad depende, primordialmente, de la manera de su generación; no de una adecuación a algo externo a ellos<sup>3</sup>.

El tercer capítulo busca ubicar el significado de Leviathan dentro de la obra total, o sea presentando estructura y funcionamiento de la sociedad organizada bajo un sistema jurídico implementado en su ejercicio por una autoridad, tal como lo observamos empíricamente en las descripciones de Aristóteles; pero sin haberlo demostrado a través de un *procedimiento de método* común a toda disciplina científica.

El concepto clave para lograr este resultado en Leviathan, como se anuncia en la Introducción y a todo lo largo de la obra, pero especialmente en los seis primeros capítulos, es el de demostración una vez que el lenguaje se convierte en un instrumento que permite calcular, empleando ya el método compositivo, ya el resolutivo. Aquí se responde a la pregunta ¿cómo es posible una ciencia de la política, del hombre en sociedad en tiempo de paz y no de guerra? ¿En qué se *diferencian* la ciencia política y la natural, siendo que ambas están basadas en la llamada demostración? ¿Por qué Hobbes elimina totalmente del texto de Leviathan el término "*estado de naturaleza*"?

## Capítulo I

### La cuestión de método

#### 1. Movimiento, imágenes mentales y cálculo

Adoptar un método como manera de entender una área determinada de experiencia implica organizar situaciones familiares e indubitables, como por ejemplo, el hecho de que la mente de cada individuo es afectada por sensaciones; o que disponemos de la facultad de hablar: de dar nombres a objetos poseedores de cierta identidad, como por ejemplo, a la mesa en que escribo; al perro con que salgo a pasear; al niño del vecino que me despierta durante la siesta. O también, podemos asociar un nombre con eventos u "objetos" presentes en la mente como resultantes de impresiones sensoriales, y que llamamos, imágenes, impresiones o ideas. También es cosa de la vida diaria calcular a través de números, o de operaciones geométricas; o emitir, a través del habla, juicios de lenguaje entendibles por otros, y de los cuales decimos que son ciertos o falsos. Esta tarea de reorganizar, siguiendo un método determinado, hechos obvios hasta llegar a juicios verdaderos o falsos que realiza la filosofía en el campo del saber científico, no se diferencia en nada de la que hicieron Kepler, Copérnico, Galileo o Newton en el campo de los fenómenos astronómicos; o Harvey y otros investigadores del organismo humano en el de los procesos fisiológicos. Con la diferencia que mientras los estudiosos de las ciencias de la naturaleza están ante todo comparando los *juicios que emiten* con los *fenómenos que observan*, atribuyéndole a estos una existencia externa, Hobbes se ocupa de los *fenómenos observados* en cuanto estos se identifican con *imágenes de la mente*. A esas imágenes mentales, cuyas causas reales son diferentes formas de movimiento, procede a coordinarlas con signos, que se dejan organizar en un cálculo. La actividad científica consiste en descubrir la manera para que las relaciones de antecedente y consecuente en una fórmula  $F \rightarrow Q$  del cálculo K estableciendo que Q es deducible (de acuerdo con las reglas de K) de F corresponde a relaciones de predecesor y sucesor en el tren de imágenes de las cuales F y Q son nombres. Una fórmula del cálculo es verdad si nos sirve para anticipar hechos futuros. Así, para dar un ejemplo simple: si Perico tiene 5 manzanas y Andrés 7 el cálculo aritmético nos dice que la imagen asociada con cinco manzanas, seguida de la de siete manzanas produce la imagen de doce manzanas. Por lo tanto la fórmula del cálculo  $5+7 = 12$  es verdad. En cambio  $5+4 = 7$  es falsa.

Todo este proceso resulta de un hecho fundamental que se constituye en punto de partida. Se trata de dar

nombres a objetos percibidos como representaciones o ideas de la mente y que el análisis revela ser efectos de una causa única: el movimiento. La acción de nominar o dar nombre a algo no relaciona objetos externos  $O_1, O_2, O_3, \dots$  con nombres  $N_1, N_2, N_3, \dots$  sino imágenes  $D_1, D_2, D_3, \dots$  con nombres  $N_1, N_2, N_3, \dots$  -los "objetos"  $O_1, O_2, O_3, \dots$  son "...una variedad de figuras originadas en la variedad de movimientos que las produce... y aunque muchos no logran entender, hasta que de alguna manera se les demuestra que todo cambio consiste en movimiento, ello no proviene de ninguna oscuridad en la cuestión misma (no es inteligible que algo pueda alterar su situación de reposo o del movimiento que posee sino por causa de movimiento) sino por una de dos razones: por haber sido corrompida su manera natural de usar el habla por opiniones recibidas previamente de sus maestros; o porque en verdad no han orientado su mente a la búsqueda de la verdad". Una vez definida esa situación en cuanto a los objetos mentales asociados con un nombre se procede a raciocinar o calcular con *esos* nombres (llamados también "apelativos"), a plantear jugadas de acuerdo con reglas establecidas, una especie de ajedrez de nombres: "Como consecuencia de esta imposición de apelativos, algunos con significado amplio, otros más restringido, convertimos el cálculo de las consecuencias de imágenes de la mente, en un cálculo de las consecuencias de los nombres"<sup>5</sup>. De suerte que el tren de imágenes viene siendo isomórfico a los nombres que figuran en el cálculo. Si hemos acertado con el cálculo, las dos series son adecuadas la una a la otra. O sea que el cálculo se convierte en una representación simbólica, un modelo teórico de la realidad dada en las imágenes. La cuestión parece muy confusa, pero basta pensar que eso es lo que hacemos cuando al sumar "cinco" con "siete" nos da "doce". Según Hobbes no es con los números mismos que calculamos sino con sus nombres (signos). De ahí resulta  $5+7=12$ . La cuestión para llegar a una definición general de la ciencia y no solamente de la Física exige generalizar la idea de cálculo o raciocinio permitiendo así su aplicación a signos que corresponden a ideas diferentes a los números de que trata la aritmética. Dos siglos y medio después de haber Hobbes expuesto esta manera de relacionar nombres con imágenes, Heinrich Hertz publica su famoso "Principios de la Mecánica"<sup>6</sup>. Allí, en la introducción, en un intento de explicar la estructura lógico-epistemológica del método de la Física, dice lo siguiente: "Nuestro interés en un conocimiento consciente de la naturaleza tiene como meta principal capacitarnos a fin de estar en condiciones de anticipar eventos futuros... el procedimiento que siempre utilizamos para deducir lo porvenir de lo que

precede logrando así anticipar eventos es el siguiente: De los objetos externos, producimos en la mente determinadas imágenes o símbolos. Y hacemos estas imágenes o símbolos de tal manera que la necesaria relación de consecuencia entre símbolos, sea, a su vez, imagen de la consecuencia necesaria que se presenta entre los objetos representados (abgebildete)" O sea que existen dos series A y B de cosas; una de objetos A, por un lado, y otra de nombres o signos B por el otro. El procedimiento es idéntico al descrito por Hobbes. En ambas series -objetos en la primera, signos en la segunda- se suceden unos a otros. (Aquello que Hertz llama "objeto", Hobbes, de conformidad con el gran descubrimiento expuesto en *De Homine* II, 1, llama "imagen" o idea. Estos son los componentes de A.) La pregunta que debe ahora hacerse es: ¿cómo se relacionan A y B entre sí? La respuesta que da Hertz es: sabemos de la experiencia de la ciencia, que es posible que correspondan entre sí. Y comprobamos si un cálculo determinado B sirve para anticipar eventos futuros pertenecientes a la serie A, precisamente observando si el hecho anticipado se registra como evento de A o no. Cada una de las series está regida por un ordenamiento de sus elementos entre sí a través de una relación de consecuencia. La serie de símbolos, a través del cálculo. Los objetos, (imágenes para Hobbes) por lo que ocurre en la "realidad" A. Concluye Hertz su exposición diciendo: "Para que esta condición sea realizable deben existir ciertas coincidencias entre la naturaleza y nuestra mente. La experiencia nos enseña que esta condición de hecho se cumple y que tales coincidencias existen; así podemos en estas, (la serie B) como en unos modelos, desarrollar (calcular) en breve tiempo las consecuencias que en el mundo exterior (la serie A) tardarían mucho en presentarse; o que sólo como resultado de nuestra propia intervención (el experimento diseñado con tal propósito) se harían presentes". La ciencia (la relación entre A y B) dicho en pocas palabras, es un método para construir estructuras isomórficas a los procesos que el movimiento desencadena en el mundo de los objetos espacio-temporales. Hoy diríamos que la ciencia nos permite construir modelos teóricos o establecer relaciones funcionales que equivalen a "simulaciones" de la realidad. La cuestión está en aplicar esta misma técnica de construir modelos, utilizada por la geometría, a construcciones que simulen los fenómenos sociales.

## 2. Las nuevas ciencias: de la Astronomía a De CIVE

Quien logre demostrar cómo crear una realidad artificial *colectiva* "simulatoria" de la creada por Dios

en el comportamiento *individual* de los seres humanos, podrá reclamar para sí el título de “inventor de la ciencia social”, así como Galileo inventa la cinemática y Harvey la teoría de la circulación de la sangre: “En consecuencia, el comienzo de la Astronomía, exceptuando los datos provenientes de la observación, pienso que no puede ser localizado con anterioridad a Nicolás Copérnico... Galileo, en nuestro tiempo,... fue el primero en abrir para nosotros la puerta de la filosofía universal de la naturaleza, la cual consiste en el conocimiento de la naturaleza del *movimiento*... Finalmente, la ciencia del *cuero humano* descubierta con admirable sagacidad por nuestro compatriota doctor Harvey,...” Hobbes se da perfectamente cuenta de que en el curso de cuatro generaciones la manera de obtener conocimiento cierto de los mecanismos que regulan los fenómenos de la naturaleza ha producido resultados espectaculares. De ahí que continúa: “... con anterioridad a éstos no existía nada cierto en el conocimiento de la naturaleza con excepción de experiencias restringidas a cada persona individual; y las historias naturales, si acaso puede decirse que sean ciertas, no tienen mayor certeza que la historia de los acontecimientos sociales”<sup>7</sup> En un breve lapso de tiempo, sin embargo, estas ciencias han ido creciendo. Y de esa enumeración de nuevas ciencias, concluye Hobbes: que “aunque el conocimiento de la naturaleza sea reciente, la ciencia de la sociedad es aún más joven, no teniendo más edad que mi propia De Cive”. Forma así la paternidad de la ciencia social, parte del proceso general del avance del conocimiento gracias a la utilización de un método *COMÚN*.

Es sabido que no existe una interpretación de Hobbes aceptable para la mayoría de los estudiosos de su pensamiento. La amplitud de las divergencias es notable y va unida tanto a la condena moral por el egoísmo innato que supuestamente atribuye al ser humano, como al elogio por su búsqueda de un remedio eficaz para terminar la discordia y asegurar la convivencia. En una serie de ensayos publicados en 1969, el profesor W.H. Greenleaf<sup>8</sup> intenta realizar una clasificación de las maneras de interpretar a Hobbes. Pero además, sugiere que tales divergencias en torno a un pensador el cual “...sin ninguna ambigüedad pensó al más alto nivel de abstracción... el filosófico, no hallarán solución a través de mayor visión o de más exégesis del texto sino simplemente de mayor investigación.” (What is most needed now is not more insight nor textual exegesis but simply more research). La pregunta pertinente es: ¿investigación en torno a qué? Quizás el mismo Hobbes suministra la respuesta cuando en la Introducción a Leviathan habla de quienes pretende descifrar un enigma sin tener la llave. En el caso de

Hobbes esa llave nos la da tanto el texto mismo, como el contexto de la época en que escribió. Más no se trata del contexto de la guerras civiles, ni de la inestabilidad de la vida política e histórica. La *clave* de Leviathan está, en consecuencia, no en el interés psicológico y moral que haya tenido Hobbes en promulgar una fórmula de convivencia para su medio histórico, sino en haber buscado y haber entendido la manera como *la mente humana opera* cuando busca imitar “A la naturaleza (el arte por medio del cual Dios ha creado y gobierna el mundo)... imitándola, igual que en muchas otras cosas, también en ésta; de suerte que llega a crear un animal artificial” frase instructiva con que se inicia la igualmente instructiva Introducción de Leviathan. Pensamos, por consiguiente, que la investigación requerida para entender a Hobbes se encuentra no en el relato de “los acontecimientos sociales” sino en el estudio de cómo las ciencias logran conocer las relaciones funcionales que constituyen eso que llamamos *naturaleza*. De la atención cuidadosa y permanente que se preste a la búsqueda de esas coordenadas de referencia filosófica, tanto de texto como de contexto, en la obra hobbesiana depende, en gran parte, el éxito que se logre en captar de manera coherente y perspicaz lo que nos quiso decir.

### 3. El método hobbesiano y la verdad como adecuación

El esfuerzo de Hobbes se concentra en fijar criterios de verdad en los juicios emitidos con propósito cognoscitivo, que puedan ser aplicados al conocimiento de la naturaleza, tal y como empieza a surgir al iniciarse el Siglo XVII. En esta tarea sigue el camino trazado por Aristóteles, Platón, los escolásticos y los grandes constructores de sistemas filosóficos del Renacimiento, donde cada cual intenta definir lo que debe entenderse por verdad. Más no por adherirse en la forma a esta tradición pierde el pensamiento de Hobbes su carácter revolucionario, por la sencilla razón de que no está repitiendo sino abriendo un nuevo camino hacia la verdad. En primer término en relación con las ciencias de la naturaleza descubiertas por otros, en donde la verdad como adecuación entre intelecto y cosa del realismo aristotélico-tomista se modifica sustancialmente. En segundo, a la ciencia de la sociedad política de la cual el se considera el inventor y descubridor. El panorama epistemológico presentado por el pensamiento actual para juzgar a los filósofos del pasado, constituye un obstáculo insalvable para entender a Hobbes, pues tiende a ubicarlo como partidario o practicante del método empirista a la Hume. De aquel empirismo asociado con el *método inductivo, enumerativo de casos* particulares para

proponer leyes del tipo "Todos los elefantes son grises". Con la posibilidad de que la experiencia produzca un ejemplo falsificadorio. Ya Francis Bacon, de quien Hobbes fue secretario en una época, había rechazado de manera radical ese tipo de inducción como camino para llegar al conocimiento científico<sup>9</sup>. Dentro del cual, como es bien sabido, el principio de causalidad sobre el que está basada la ciencia como conocimiento de causas y efectos termina convirtiéndose en una cuestión de mero *hábito de asociación* de dos eventos en el tiempo. Examinaremos, más adelante, desde el punto de vista de quienes comentan desde una posición *externa al sistema el significado* del método geométrico en Hobbes, la forma *errada* como interpretan su posición. Por ahora concluiremos esta discusión con algunas observaciones de carácter general sobre el pensamiento hobbesiano.

Contrariamente a lo que se piensa, la filosofía de Hobbes no se reduce a un intento de convertir la política en ciencia; esa es, ciertamente, su meta y representa la etapa final de su pensamiento. Pero sobre las siguientes bases: Primero, se trata de dar nacimiento a una ciencia de lo político exhibiendo igual firmeza y objetividad en sus fundamentos que la física y la geometría. Más no concibiéndola como un resultado aislado sino como una rama salida de un *mismo* tronco, nutrida en el mismo suelo en que se origina la racionalidad misma del saber. Segundo, *garantizar esa racionalidad sobre la base de un método* único, el de la ciencia. Siendo la ciencia el tema se requiere aplicar un método para llegar a ella, lo cual convierte a la ciencia misma en contenido. Se requiere, por consiguiente, aún al nivel de especulación filosófica, diferenciar entre *método y contenido*. Tercero; a partir de una filosofía natural de base científica, compartida en cuanto a método con la geometría y la física, debe ser posible construir la ciencia de la política. O sea que Leviathan representa un piso más en el edificio de la ciencia, dentro de un principio que permite a la vez *diversidad temática y unidad de método*. Preciado este programa, cabe preguntarse: ¿Cuál es el significado dentro del contexto de la época, frente a Descartes, Galileo, Newton, Hervey y los demás grandes de la época, de la arquitectura hobbesiana? La respuesta es tan clara que parecería trivial sino fuese por el esfuerzo intelectual gigantesco que se invirtió en obtenerla. La estructura intelectual objetiva, (no psicológica) de este esfuerzo por parte de Hobbes es lo que discutiremos a continuación.

Planteado así el problema es evidente que lo que se está definiendo es lo que significa afirmar que una expresión lingüística, un juicio, sea verdad. Y ahí surge la polémica entre realismo inductivista e idealismo experimental la cual se prolonga hasta nuestros días. Se

trata, al definir la verdad, nadie lo duda, de una adecuación. La pregunta es: ¿qué es lo adecuado a qué? ¿Es entre el intelecto y algo externo a él, la cosa en sí, das Ding an sich? ¿O, entre dos series de objetos, ambos pertenecientes al intelecto, la mente, facultad a la cual está integrada, a través de una de las series A, la percepción? Hobbes, la geometría y la ciencia física dan su versión y con ello explican el hecho de que la física como ciencia exista. Los presupuestos filosóficos de esta versión quedan elaborados y consignados en las distintas variantes del pensamiento que arrancando de Bacon, culmina en Kant. Por elaborar su teoría de la verdad como *adecuación, pero sin exigir la presencia de un objeto externo*, se califica a tal sistema de idealismo. Lo cual crea una gran confusión en quienes aspiran a resolver tan difícil y debatido problema, clasificando cada sistema dentro de un maniqueísmo epistemológico de "o Platón o Aristóteles"; "o Berkley o Hume". En efecto, al establecer una teoría de la adecuación entre las series A y B, *sin hacer referencia a los objetos de la vida diaria*, en cierta manera, *desaparece la realidad...* más no siempre de acuerdo a como lo enseña Berkeley. Sino que viene a ser reemplazada por una realidad más objetiva, menos atada al *organismo perceptivo* a las llamadas cualidades secundarias inmersas en el subjetivismo radical de la sensación el cual tan fácilmente conduce a *juicios contradictorios sobre un mismo objeto*, como los ejemplos dados por Galileo sobre la sensación de frío y caliente, lo evidencian. Desaparece, es cierto, el universo sustancialista y queda reemplazado por uno de *atributos mensurables, formulables y manipulables a través de un cálculo*. Nueva manera de concebir la realidad que en pocas generaciones conduce a que el hombre obtenga dominio sobre las fuerzas de la naturaleza, como lo preconizaba Bacon y como progresivamente se convierte en realidad a través de la física moderna. Más lo importante, lo fundamental es encontrar el camino adecuado, en el cual no se haga necesario rectificar, a cada generación, el punto de partida. Esto lo logra la escuela de Galileo, y Hobbes y otros se dan cuenta de la importancia de ello. El nuevo método, la nueva metafísica que explica la posibilidad de la física experimental Kant la llama *realismo empírico, idealismo "trascendental" (o también "crítico")* para así diferenciar esta nueva forma de concebir la verdad frente al *realismo metafísico* de quienes postulan la Ding an sich, por una parte, o quienes caen en el escepticismo a través del idealismo absoluto del "esse est percipi" por otra<sup>10</sup>. Vemos, entonces, que la epistemología hobbesiana *presenta y anticipa*, dentro de un vocabulario diferente y como resultado de utilizar un método que algunos califican de "nominalismo", las tesis fundamentales del

idealismo kantiano. Lo cual no debe extrañar a nadie, ya que el punto de partida es esencialmente el mismo: ¿Cómo son posibles los juicios apodícticos de la ciencia matemática y de la física experimental?<sup>11</sup>. El paralelismo entre validez y calidad del conocimiento, o entre materia y forma, o contenido y método, existente entre Hobbes y Kant, constituye no sólo un problema digno de ser investigado, sino que, el hecho que nadie haya caído en cuanta de él, es un indicio de lo mal que se ha entendido a estos dos autores, *tanto en cuanto al problema que los preocupaba como en cuanto a la respuesta que le dieron*.

Es bastante claro, también, que la física empieza a surgir cuando se adopta la visión llamada “nominalista” de la verdad, en la cual, de ninguna manera se niega la existencia del mundo externo. No se trata de eso. Sino de aquello que conocemos para efectos de *la teoría del experimento*. El objeto está dado *no por fuera, sino dentro* de las series A, B que construimos. El problema está en cómo las *construimos y las aplicamos a la manipulación de las cosas*, del mundo de los objetos. No se trata aquí de dar una visión completa de este problema sino tan sólo de señalar el papel fundamental que desempeña, en el sentido de constituir *la fundamentación de su sistema, para Hobbes*. Este procedimiento de jugar (calcular; racionar) de manera adecuada con nombres (signos) nos garantiza la objetividad y la verdad de las proposiciones que se van formando. De ahí surge inmediatamente una consecuencia esencial para la física. Supongamos que podemos inventar o construir nombres y empezar a calcular con ellos, aunque aquello para lo cual son apelativos tan sólo existe en la mente, sin que ésta haya sido afectada por actos de percepción. Existen, entonces, dos posibilidades. O no es posible asociar una experiencia perceptiva con cada nombre, como es el caso del ajedrez;<sup>12</sup> o de manera similar a como juegan los niños cuando inventan nombres que terminan, en el desarrollo del juego, designando objetos sensoriales a los cuales hacen hablar y actuar, atribuyéndoles sentimientos y calidades asociadas con un comportamiento consciente, detrás del cual se esconde un sujeto. El hecho histórico es que la *física experimental moderna lo que hace es lo segundo. Inventar nombres que correspondan a ideas modelos teóricos) en la mente, con importe empírico (definiciones operacionales), a fin de comprobar si un determinado objeto 0\* -el cual la mente sitúa en el espacio-tiempo queda mediante el experimento Ex\*, subsumido o no bajo el modelo teórico<sup>13</sup>.*

Se trata de encontrar, con un método adecuado, la manera de pasar de la *verdad subjetiva*, que depende de las circunstancias transitorias, tanto orgánicas como de pensamiento -los ídolos de la mente-, en que se encuentra

el sujeto que emite juicios sobre la naturaleza moral, política o de otro orden que lo rodea, a *juicios de verdad objetiva*, aquellos que pueden ser aceptados por todos y que por lo tanto nos permiten vivir y sobrevivir en un mundo común. El cual compartimos porque entendemos su unidad y los principios que nos permiten conservarlo ya que nos fue otorgado para disfrutarlo, no para destruirlo; y así, respetando a la naturaleza como creación y gobierno de Dios, conservarnos a nosotros mismos. Tan sólo esta visión *objetiva* de la realidad hace posible evitar la contienda civil entre los hombres y de éstos con la naturaleza.

#### 4. Geometría y el método de toda ciencia posible

El principio fundamental del cual parte Hobbes para concluir que existe, por parte de la mente humana, posibilidad de llegar a conocimientos ciertos organizados en forma de sistema y no de simple acopio de datos aislados, referidos a objetos o situaciones concretas, es de fácil enunciación. El filósofo mismo se encarga de decírnoslo: Ya existe un ejemplo de tal tipo de conocimiento, al cual por sus características de certeza, le damos el calificativo de Ciencia: la Geometría! De ahí que en *Leviathan*, obra que pretende constituirse en paradigma de la Ciencia Política, se nos diga: “En la geometría, la única ciencia que, hasta la fecha, plugio a Dios conceder al hombre, empieza éste por ponerse de acuerdo sobre el significado de las palabras, actividad que se llama establecer *DEFINICIONES, LAS CUALES COLOCA AL INICIO DE SUS CALCULACIONES (racionios)*”<sup>14</sup>. En consecuencia, si se aspira a dar a la experiencia política el carácter de ciencia, en manera análoga a como la geometría se lo da a nuestra experiencia de los cuerpos extensos, será necesario aclarar en qué consiste el método de la ciencia como explicación de un grupo de fenómenos. Nuestro primer problema consiste, por consiguiente, en captar: 1. Que la política, hasta ahora un conocimiento de carácter puramente empírico, puede convertirse en ciencia. “. Ello exige aplicar a esos aspectos de la conducta humana que llamamos “política”, un método de análisis y ordenamiento sistemático de sus conceptos y verdades, *análogo* al que hace de la geometría una ciencia. 3. Tal método es inseparable del acto por medio del cual la mente adjudica un nombre (signo) *a cada una de sus propias representaciones constituidas por elementos tomados de la percepción*. 4. Una vez que la mente adscribe un nombre a cada una de sus representaciones, la misma mente procede a computar viz, racionar con esos nombres. O sea que decir, “el hombre es un animal racional”, implica, *sumarle* al nombre “hombre” los nombres “animal” y “racional”.

Esto significa que para Hobbes el lenguaje consiste, por un lado, en una estructura sintáctica que permite sumar y restar nombres. De manera similar a como en la aritmética se suman y restan números y en la geometría líneas, planos, ángulos, etc. Por otra parte, y esta es su fuerza y modernidad, un nombre no es un signo material que se refiere a objetos espacio-temporales, como es el caso del lenguaje usado aristotélicamente. La referencia de un signo utilizado como nombre es a un contenido, a una idea de la mente. Establecidos estos principios los cuales discutiremos en detalle en el siguiente capítulo, el problema de Hobbes se reduce a generalizar el método demostrativo, el cual constituye la geometría en ciencia, de tal manera que pueda ser aplicado a otras áreas<sup>15</sup>.

Lo anterior debe entenderse correctamente so pena de caer en graves errores de interpretación. Hobbes no pretende geometrizar la ciencia de la política, como algunas veces se afirma, sobre todo cuando se piensa que lo característico de la geometría como ciencia es su organización como sistema deductivo<sup>16</sup>. Lo que él está diciendo es que el carácter científico de la ciencia de los cuerpos, (de la extensión) proviene de un recto uso de la razón en ese sector específico de Experiencia. El programa de Leviathan consiste en aplicar los principios constitutivos de la ciencia en general, no los de una particular, al área de la sociedad civil. Para lograr esto, es indispensable, llegar a una definición y comprensión general de lo que es ciencia partiendo de los principios del raciocinio, o sea, en términos hobbesianos, aplicando un sistema de cálculo. Disponiendo de una pista de despegue (la geometría) para volar a las alturas de lo que es la razón calculadora, así como a los principios de su *aplicabilidad a los diferentes campos de experiencia*, donde se ubican y constituyen las ciencias particulares. Lo importante es la raíz *común* de la científicidad. El propósito hobbesiano es muy claro. El diablo del lenguaje, los ídolos de Bacon, que todo lo descomponen, se han encargado de crear en torno de la filosofía de Hobbes y su alusión y utilización del método, un verdadero caos conceptual y metodológico; una verdadera Torre de Babel confundiendo *contenido* con *método*<sup>17</sup>. Y, lo que es más desconcertante, partiendo de la base de que se ha captado correctamente el significado de los conceptos utilizados. Los estudiosos del sistema, todos y cada uno de ellos, consideran haber captado lo que entiende Hobbes por la Geometría como ciencia, el *método geométrico*.

Intentaré argumentar, de la mano del texto hobbesiano mismo y guiado por el principio elemental de que todo gran pensador merece el beneficio de la duda en cuanto a la coherencia lógica y temática de lo que expone, que la interpretación corriente está *sistemáticamente* equivo-

cada, contradice el texto hobbesiano y, aún más grave, lo vuelve *incoherente*<sup>18</sup>. Ignorando, al mismo tiempo, principios fundamentales en torno al tema de la geometría corrientes en el debate científico de la época (Bacon, Galileo, Newton, Spinoza, entre otros). O sea que se *ignora el contexto histórico-científico* del texto hobbesiano *reemplazándolo por el social*.

Finalmente, y para concluir este capítulo: vale la pena destacar que en el paralelismo existente entre Hobbes y Kant, el primero se sitúa en una posición más abierta y cercana a la modernidad como concepción general de la teoría científica, gracias a su idea de que raciocinar consiste en establecer reglas semánticas a fin de dar contenido empírico a los signos de un cálculo. Sin comprometerse con ningún cálculo específico. La dificultad de la construcción kantiana surge de su compromiso con el cálculo expresado en al *sintaxis aristotélica*. De la necesidad de reducir toda proposición a la Tabla de los Juicios. Lo que evidentemente restringe el uso del vocabulario en el que se expresan relaciones funcionales. Esta limitación, acogida por Kant como una prueba de que su sistema era el más completo posible, constituye un lastre permanente del kantismo visible incluso, en la manera como pretende deducir el principio de necesidad causal, de la naturaleza de los juicios hipotéticos. Hobbes, heredero de una escuela de pensamiento que mantiene permanente distancia con el aristotelismo, penetra más la estructura gnoseológica de las relaciones funcionales.

## Capítulo II

### Texto Hobbesiano y método científico

#### Sección primera

No es del caso ampliar, en esta etapa de nuestra exposición, el pensamiento hobbesiano sobre las relaciones existentes, entre cálculo o raciocinio y tren de imágenes de la mente. Ello es tema *constante* y *central* del concepto de ciencia que debe guiar nuestro esfuerzo por hacer inteligible el concepto de conocimiento. Lo desarrollaremos más adelante, al tratar de la *demostración como método creativo para generar relaciones de consecuencia (causalidad) entre nombres*. Sin embargo, una simple lectura cuidadosa de los Capítulos 3-6 de Leviathan basta para reafirmar la importancia del tema, a pesar de que inicialmente sea en extremo difícil captar el significado profundo y revolucionario de *fundamentar* la ciencia sobre la *existencia de estas dos series*.

## 1. Encuentro de Hobbes con la geometría

Por otra parte, es comprensible además de probable que, convertido en rutina el método de las dos series, haya ocurrido que las operaciones descritas como constitutivas de la posibilidad de la ciencia hayan pasado a segundo plano frente a la práctica diaria, con eventos espaciales, del método experimental<sup>19</sup>. Dispensándose el *trabajo de diferenciar* entre conocimiento proveniente de la *experiencia darwiniana del organismo en su diaria empresa de sobrevivir*, por una parte, y el de la *ciencia experimental*, basado en la reflexión, por otra. Pensar en términos de ciencia no es un acto natural al animal: “esas otras facultades, de las cuales hablaré aquí, parecen ser exclusivas al hombre y, se adquieren e incrementan por el estudio y la diligencia. Y para la mayoría de las personas se aprenden por instrucción y disciplina. Todo lo cual se origina en haber inventado las palabras y el lenguaje. Por cuanto, excluyendo los datos perceptivos, las ideas (imágenes) y trenes (series) de imágenes la mente humana carece de toda otra manera de movimiento”<sup>20</sup>. Y que más tarde, (quizás con David Hume, quien no ejerció una labor científica personal, sino que actuaba de perspicaz comentarista desde *afuera, frente al idioma ontológico-substantialista empleado*) se haya adoptado *dogmáticamente* (como componente integral del método científico) la *sintaxis aristotélica* la cual, es cuestión generalmente admitida, investiga a la naturaleza desde una *perspectiva inductivista*. Punto de apoyo arquimediano para la palanca sintáctica aristotélica a partir del cual se hacen imposibles todos los puentes conceptuales y de método con la ciencia galileana<sup>21</sup>. Veamos entonces como, Hobbes, perteneciente a la generación en la cual se *pensó -sin la camisa de fuerza de los juicios aristotélicos- la ciencia moderna*, resuelve el problema que nos ocupa.

Debemos, empero, antes de entrar a la cuestión de cual sea ese método analizar con más detenimiento y detalle el sentido epistemológico profundo del problema planteado. Definir el método no es punto de salida sino que significa ya avanzar en la respuesta al problema propuesto. Y, es verdad de Perogrullo, que para *entender* la respuesta se debe previamente tener claridad sobre lo que *significa la pregunta*. A su vez, dentro de la literatura hobessiana la cuestión se enreda porque quienes dan una respuesta a partir del texto, implícitamente *suponen* que han captado, sin equívocos, la pregunta que condiciona la respuesta. Lo cual a su vez presupone haber captado con claridad lo esencial del método hobbesiano. Debemos, por lo tanto, ocuparnos preliminarmente en explicar qué *origen tiene la confusión en cuanto a método*.

## 2. Los hábitos mentales de la deducción lógica

Antes de traspasar la puerta que lleva a la ciencia de la sociedad y antes de examinar el texto mismo del debate sobre la geometría, quizás sea más fácil entender el problema si se aventuran algunas opiniones sobre las causas para que tal falseamiento, en relación con el método geométrico, haya ocurrido. En primer lugar, cada cual que haya pasado en su educación escolar elemental con algo de diligencia y esfuerzo por la tarea de *deducir* teoremas, escolios y corolarios cree estar *muy bien enterado* sobre cuál es el secreto y el *mérito* del saber geométrico; de manera análoga a como cualquier adolescente que domina su idioma familiar podría informar sobre como expresarse en su lengua. Claro está, siempre y cuando no le preguntemos como es *posible* que exista el idioma como vehículo interpersonal, objetivo y articulado de comunicación. Una cosa es, entonces, hablar bien y hacerse entender, y otra bastante diferente y más complicada explicar cómo es posible que homo-sapiens haya topado evolutivamente con el lenguaje; y cuáles son aquellas *operaciones de la mente* que nos permiten generarlo y utilizarlo. Tanto para la comunicación diaria como para *constituir* el lenguaje del conocimiento científico. Lo cual, aunque está relacionado con la gramática de cada lenguaje cognoscitivo, es un problema que sobrepasa los esquemas particulares de la sintaxis.

## 3. Hobbes, enamorado de la geometría

En segundo lugar a esta confusión inicial en cuanto a lo que cada cual entiende por “geometría”, se agrega la provocada por la anécdota que relata Aubrey en su “Brief Lives”, sobre la manera repentina como, estando en la casa de un noble señor, Hobbes, llegado a los cuarenta años, cae víctima de “enamoramiento a primera vista” con relación a la geometría. Recibió aquello que Kant, en el Prefacio a la Segunda edición a su Crítica de la Razón Pura llama “la luz que descende... sobre Tales de Mileto... y sobre Galileo”,<sup>22</sup> iluminación repentina como consecuencia de la cual tanto geometría como física experimental, al ser *invención de un individuo*, se convierten en método de *validez intersubjetiva* que permite difundir verdades demostradas; como consecuencia de lo cual esas ciencias se “adentran por el camino seguro de una ciencia”... asegurando para sí un progreso indefinido, contrariamente a la Metafísica en donde no es posible llegar a un acuerdo en cuanto a procedimiento y en donde un tantear sin rumbo frecuentemente exige “recomenzar el camino adoptando una nueva orientación”<sup>23</sup>.

La conocida anécdota de Aubrey se encuentra en casi todas las introducciones a una edición moderna de Leviathan así como en las biografías, aún las esquemáticas, de Hobbes. De esta manera ella se constituye en *punto de partida* para la interpretación canónica del método hobbesiano. Y con ello lo que ahí se dice respecto al método “demostrativo” de la geometría y la intención *lógica-formalista* que se le atribuye, queda entronizado como leit-motiv de la filosofía de Hobbes. Igual a como aquella referencia a Copérnico por parte de Kant siendo, de *carácter marginal* carente de valor epistemológico (en relación con lo dicho *cuatro páginas antes sobre Tales y Galileo*), se convierte en *criterio de la ortodoxia* para la interpretación de la filosofía kantiana. Con el resultado verdaderamente escandaloso (comprensible en su coherencia y persistencia) de que en ambas “cause celebre” el malentendido y la consecuente deformación radical del sistema en cuanto a método, gire en torno al concepto de demostración. Y digo que tal resultado escandaloso para la historia de la filosofía es comprensible porque ambos filósofos están intentando descifrar el mismo enigma: ¿cuáles son las *operaciones de la razón* en el proceso del conocimiento que *hacen posible* el conocimiento geométrico y la física experimental? Siendo la pregunta la *misma* no es sorprendente que ambos topen con la misma clave: la demostración. Habiendo hecho ambos el mismo descubrimiento, *utilizando el mismo vocablo*, Kant en abril de 1787 en el mencionado Prefacio, Hobbes, expresándolo de manera definitiva en 1656 con la definición saviliana (aunque habiéndolo empleado en concepciones menos elaboradas en *De Corpore*) quedan ambos expuestos a idéntica tergiversación<sup>24</sup>.

Nosotros vamos a repetir aquí el relato de Aubrey, ya que se trata de algo que voltea 180 grados -de una perspectiva semántica a una infortunada lógico—sintáctica- la brújula de quienes navegando las límpidas aguas de la epistemología hobbesiana, de repente a través de esta anécdota, orientan su curso en dirección de Scylla y Charibdys, quedándose sin entender ni la geometría griega ni a Leviathan-; con el trágico resultado de que las naves filosóficas jamás han llegado a puerto ni seguro ni conocido; había llegado a los cuarenta años cuando, de manera imprevista, topó con la geometría. “Estando en la biblioteca de un hidalgo amigo halló sobre una mesa abierto en el Libro I, Proposición 47, los Elementos de Euclides. Así que lee esta Proposición. “Voto al cielo, esto es imposible exclamar (en él no era raro lanzar tales exclamaciones para subrayar algo), así que lee la demostración de ella, la cual lo refiere a una anterior que también lee, y así sucesivamente (sic deinceps), hasta

quedar demostrativamente convencido de esa verdad. Lo cual lo llevo a enamorarse de la geometría”. A esta importante anécdota sobre la cual se ha construido la interpretación del interés, difícil de exagerar, de Hobbes por la geometría es saludable hacerle varias glosas. No en cuanto se refiere a la geometría propiamente sino en cuanto a la manera, dentro del conjunto de la teoría del conocimiento científico, como debe interpretarse.

Bien pudiera ocurrir que lo que asombra a Hobbes en esa ocasión no se refiere tanto al formalismo inherente al método deductivo sino a algo más profundo: la teoría de la demostración como actividad de la razón, independientemente del formalismo de la deducción lógica. ¿Cómo hacer plausible esta hipótesis? ¿Qué significa epistemológicamente demostrar un concepto o un principio? He ahí el problema. Finalmente, si se toma en cuenta la existencia de situaciones similares -revelaciones inesperadas y repentinas, ajenas a todo proceso lógico-conocidas en la historia del pensamiento (la eureka de Arquímedes, el sueño de Descartes sobre la geometría analítica, o el atribuido a la manzana de Newton), se hace necesario distinguir entre la circunstancia externa y el proceso de *pensamiento personal del descubridor*. Sin excepción que yo conozca, la revelación viene a ocurrir a quien lleva un considerable período de tiempo *pensando en cuál sea la respuesta* a un determinado problema, buscando la causa de cierto fenómeno o proceso observado. *Millones de personas* han flotado en una tina o han visto manzanas caer. Pienso, por consiguiente, que es necesario interpretar a Hobbes de conformidad con los procesos mentales que lo tenían embargado. No parece probable, en vista de su obra científica posterior pero biográficamente cercana al episodio relatado, que éstos estuvieran referidos a las “relaciones de deducibilidad formal” *entre* proposiciones de los Elementos de Euclides. Es más que posible que ellos estuvieran referidos a la relación de una proposición con lo que *internamente* le da referencia empírica.

#### 4. Interpretación del encuentro con la geometría

El punto de partida que nos permitiría resolver el enigma epistemológico de lo que significa “demostrar” está en que nadie, ni el mismo Aubrey, preguntó a Hobbes en qué consistía su “descubrimiento” del método demostrativo de la geometría. Se acepta como evidente que ello se refiere a la organización deductiva formal del sistema euclideo, no obstante que el texto utiliza la palabra “demostratively convinced of that truth”. Además, no siendo la deducción lógica, algo *específico* a la geometría sino una relación formal entre proposiciones,

compartida por toda actividad de raciocinio que parte de reglas o premisas aceptadas (desde resolver una ecuación o llevar un saldo bancario hasta jugar ajedrez o llevar el score de una partida de tenis), no sería la geometría el paradigma de la ciencia<sup>25</sup>. Parece obvio, sin embargo, que la interpretación aceptada universalmente del célebre episodio se basa en el significado lógico-formal, vulgarmente asociado al término demostrar. Por fortuna, en diversas ocasiones en referencia con la posibilidad del conocimiento científico la filosofía del Siglo XVII no sólo utiliza sino que aclara el concepto de demostración. Tal uso, emanado del mismo Hobbes, dista mucho de su significado como “deducibilidad formal”, que es la manera como se entiende dentro de la tradición de enseñar geometría. En la Epístola Dedicatoria a Henry Lord Pierrepont de su escrito de 1656 “Seis Lecciones sobre Geometría a los Profesores Savilian de Oxford”, su autor nos dice:

“En cuanto a las artes, algunas son demostrables, otras indemostrables. Demostrables son aquellas cuyo contenido es construible por emanar del poder mismo del artista, quien, en su demostración lo que hace no es nada distinto de deducir las consecuencias de lo mismo que lleva a cabo. La razón para esto es la siguiente: la ciencia de cada cosa se deriva de un pre-conocimiento de las causas, modo de generación, y construcción de la misma. De ahí resulta que cuando las causas son conocidas hay lugar para la demostración, lo cual no es el caso cuando se trata de averiguar las causas de algo. La geometría, entonces, es demostrable puesto que las líneas y figuras sobre las cuales razonamos son trazadas y descritas por nosotros mismos. Y la filosofía de la social es demostrable porque nosotros mismos creamos la sociedad. Empero, por cuanto respecto a los cuerpos que encontramos en la naturaleza no les conocemos su construcción, pero la indagamos a partir de los efectos, no se concibe una demostración en torno a cuales pueden ser las causas que buscamos, sino tan sólo de lo que podrían ser.

Además, donde hay lugar para demostrar, si los primeros principios, es decir, las definiciones no contienen el modo de generación de la cosa, no se puede demostrar nada de manera adecuada<sup>26</sup>.

La formulación presentada debe tomarse como la definitiva para efectos de lo que debe entenderse por demostración<sup>27</sup>. (Nos referiremos a ella como la versión “saviliana”). El concepto mismo, cuyo significado profundo expondremos más adelante, aparece en diversas etapas del pensamiento hobbesiano y va recibiendo diferentes formulaciones. Pero siempre dentro del contexto

de lo que debe entenderse por Filosofía. La definición de Filosofía, la cual viene siendo equivalente a conocimiento científico es: “Por filosofía debe entenderse aquel conocimiento de efectos o apariencias adquirido por un verdadero raciocinio, partiendo del conocimiento que inicialmente tenemos de sus causas o generación. O también de aquellas causas o generación que puedan ser a partir del conocimiento de sus efectos”<sup>28</sup>. De la frase final de la definición saviliana transcrita se desprende que para poder demostrar algo, no basta partir de definiciones, como es el caso en la deducción formal. Se requiere que la definición tenga un contenido que expresa el *proceso de generación de la cosa definida*. Esa causa generativa, es cierto, se *trasmite* en el silogismo de las premisas a la conclusión. Constituye una cualidad hereditaria en la deducción lógica llevada a cabo entre nombres. *Pero de ninguna manera nace de ella*. El problema de interpretar correctamente a Hobbes depende, por consiguiente, de entender el significado de demostración como método capaz de unir referencia empírica y certeza absoluta. Un afortunado híbrido epistemológico entre el empirismo y las ideas innatas del platonismo.

## Sección segunda

### La demostración como posibilidad del experimento

Empero, el paso siguiente debe surgir de precisar *cuál característica de la ciencia galileana puede ser aprehendida* y sistematizada gracias a la posición hobbesiana, *no siendo ello posible* desde el punto de vista del realismo aristotélico, sistema que también pretende extender sus estructuras conceptuales, incluyendo su manera específica de calcular, sobre el mundo real. ¿Cuál será aquél elusivo pez de escamas doradas sumergido en las profundidades de la realidad pero que no se deja aprisionar por las *redes inductivas* de la ciencia aristotélica? Hobbes lo avizó, y con su energía y ambición intelectual nutrida, entre otras, en el discurso baconiano se propuso construir el sistema que habría de asegurar la pesca milagrosa. Ese pez, hoy en día fácil de referirse a él pero difícil de reducir a un sistema racional, se llama el *método experimental*. O sea que toda filosofía de la naturaleza que aspire a ser metafísica o, en términos modernos, a formular el *meta-lenguaje de la ciencia, encierra y explícita, necesariamente, una teoría del experimento*. Convirtiéndose así en aquello que Kant llama “metafísica como ciencia”, habiendo logrado formularla con referencia a la geometría de Tales y a la física de Galileo de manera explícita pero comprimida, tan comprimida que aún no ha sido detectada en su verdadera dimensión en Abril de 1787, en el Prefacio a la segunda edición de la Crítica de la Razón Pura.

## 1. El hobbesianismo: una filosofía del experimento

Conviene, en casos en que un texto aparenta simplicidad y en el fondo permanece opaco para la luz del entendimiento -estamos hablando de Hobbes- mantener presente lo que advierte Kant en el Prefacio B: Se trata de que "*la razón especulativa tiene una estructura orgánica, en la cual el todo tan sólo es aprehensible en función de la parte y cada parte en función del todo y de las demás*"<sup>33</sup>.

Esta estructura es lo que caracteriza a la razón pura frente a la epistemología empírica en la cual el proceso consiste en pasar de un objeto a otro extrayendo notas comunes que permiten *formular leyes inductivas*. Pero lo que hace interesante y difícil de penetrar el método de la filosofía crítica, (e *incluimos*, para fines de este estudio dentro de la escuela de pensamiento asociada con Kant, la hobbesiana). Se origina precisamente en que el *conocimiento no se puede construir de manera sintética* sumando pedazos dispersos, como procede el niño que recoge piedras y trozos de madera de aquí y de allá para irlos pegando a ver si de pronto resulta un muñeco<sup>34</sup>. Lo difícil está en que para hacer *la carta de navegación de la experiencia científica se debe arrancar del puerto de llegada*, o sea, del hecho de que existe *factualmente* un conocimiento apodíctico asociado con el hecho experimental. De manera similar a como se produce una gran obra de arte: el concepto de la totalidad existe con anterioridad a las partes y este concepto de totalidad es causa del papel que desempeñan las partes. Nadie afirma que las partes sean hechos espaciales. Lo que se afirma es que no siendo fragmentos tampoco entran a formar parte del significado del todo en calidad de meros hechos sumables, con identidad propia. *Su identidad inteligible tiene carácter holístico*. Lo que exige descomponerlo en sus elementos partiendo del hecho de que *no son fragmentos aislados sino partes orgánicas de una totalidad*. (Véase nota 20 supra). Para luego, de manera sintética reconstruir, pero *precisamente* como totalidad orgánica. De esta manera, en el *escenario del conocimiento* que nos da la física experimental, se le va asignando su función a la *percepción, al lenguaje, al uso de los signos, a la comunicación de significados, a la creación de relaciones funcionales, al movimiento como realidad última, a los diferentes sistemas y operaciones de cálculo*, y finalmente, a la cuantificación del tiempo y el espacio. Solamente así se llega a entender y, por consiguiente, a *demostrar el conocimiento como actividad de la razón*.

## 2. El holismo en Hobbes

Cabe preguntarse, ahora, con el fin de captar la estructura de inteligibilidad del pensamiento hobbesiano ¿en dónde, dentro de la filosofía del sistema, *adopta Hobbes el método holístico* de suerte que *el todo se percibe en la función de cada una de las partes y, cada una, en relación con las demás*? La respuesta es: Al optar por la geometría como "la única ciencia que Dios ha concedido al hombre" y al emprender un análisis de esta como *paradigma* del saber está Hobbes aplicando el *método holístico*; el cual, dentro de su sistema se llama *analítico*. De ahí, empieza a descomponer el método geométrico asignando a cada una de sus etapas una función cognoscitiva. Enfrentado a esta labor procede como quien disecciona un cadáver, observando cómo *la mente combina los diferentes elementos* hasta constituir un organismo epistemológico. Pero consciente de que lo que *intenta entender* no es cómo está constituido un hombre muerto sino cómo *funciona uno vivo*<sup>35</sup>.

De esta labor de reconstruir paso a paso la vida de la mente hasta llegar a la geometría, Hobbes concluye que *la verdad no se refiere a objetos dados espacialmente, externos a la mente, sino al tren de imágenes que la mente retiene, contiene, combina y ordena*. Tren de Imágenes (Im') que la *misma mente*, en su función cognoscitiva coordina bi.unívocamente con un tren de signos creando así un cálculo K+ isomórfico a Im+ con relación a operaciones de sumas y resta de los elementos de cada grupo. Una vez constituido K+ en el cual están definidas operaciones de composición y resolución de sus elementos (los signos), puede aparecer *un nuevo SIGNO S+* sin que previamente esté determinado a *cuál elemento presente o virtual de Im+ corresponde S+*. Puede darse el caso de que no exista en Im+ lo designado por S+. O sea, que en K+, aplicando sus reglas, se pueden, gracias, al *isomorfismo establecido por la mente anticipar o predecir elementos de Im+*.

Utilizando la terminología fregeana del concepto de función, existe una *función* definida que relaciona biunívocamente cada elemento de Im+ con un elemento de K+. Más existe la posibilidad de que el elemento (llamémoslo "objeto" o "evento") *designado por S+*. Llamémoslo F(S+), *aunque sea posible*, no haya sido identificado. En esa situación se hace necesario diseñar un experimento EF(S+) cuya finalidad sea comprobar si F(S+) existe o no. Establezcamos, con claridad, que es lo que debe lograrse con el *experimento EF(S+)*. Debe *decidirse* si en el tren de imágenes Im+ puede, mediante la manipulación de sus elementos, *producirse*, un objeto

o evento que *corresponda biunivocamente* a  $S+$ . Si *ello es así*, el cálculo  $K+$  *es adecuado* al mundo espacio-temporal -en el cual *lo único que existe* son las diversas *configuraciones del movimiento*- donde se *originan* las imágenes de la mente. Concluimos que el poder *anticipatorio* de  $K+$ , ha sido validado *para la etapa específica* en que se realiza EFE( $S+$ ).

Pero, evidentemente,  $S+$  tiene que aparecer: 1. Como *signo* dentro de  $K+$ . 2. Tener, potencialmente, *referencia* a un elemento,  $F(S+)$ , del *tren de imágenes*. Si estas *dos condiciones* se cumplen decimos que  $S+$  ha sido demostrado. Tan sólo así es posible concebir el método experimental como una manera de conocer y *reducir a una combinación de cálculo y experimento* nuestro conocimiento de la realidad.

La imagen  $F(S+)$  está demostrada aunque *factualmente no forme parte* del tren mental isomórfico con  $K+$ . Porque la actividad de *demostrar* consiste precisamente no en calcular o *deducir* signos sino en *referir signos* al tren de imágenes de la mente. La imagen queda demostrada *aunque el objeto (configuración de movimiento) espacial, capaz de producirla en  $Im+$  no exista*. Porque lo esencial para que *exista el resultado final* de todo el proceso del conocimiento no es aquella operación mental que nos pone en *contacto con un objeto físico  $O^*$* , sino la que crea la *posibilidad* de que  $O^*$  exista. O sea *el experimento  $E^*$  nos indica si el signo calculado pasa de nombrar algo posible a nombrar algo real*. Lo importante y decisivo son la *definición y coordinación semántica* que hace posible el experimento para *cada signo que  $K+$  construye de acuerdo a sus propias reglas*. Y cuyo *proceso de construcción* es lo que hace *posible*, precisamente, aquello a que el pensamiento moderno da el nombre de *reglas semánticas*. La época de Galileo llama tal operación *demostrar*. Ellas no pueden ser *resultado*, sino que son *condición de posibilidad del método experimental*. Constituyen la demostración de  $S+$ , no su *realidad empírica*.

### 3. El apriori y la posibilidad del experimento

Conviene aquí, aunque no sea el tema central de nuestra exposición, advertir que, precisamente, en esta relación entre *las condiciones del experimento  $E^*$*  y lo que  $E^*$  demuestra, surge el tremendo malentendido en cuanto al significado del apriori. El signo que se somete a prueba tiene *origen a priori* -no es un hecho de percepción empírica- y sólo es sometible a *prueba experimental*, en cuanto a su existencia real, si *previamente* tiene significado operativo, o sea que ha sido demostrado. Por otra parte  $E^*$  demuestra si el objeto con

que se lleva a cabo  $E^*$  existe o nó. Son *dos usos diferentes* del vocablo demostrar. Usos que señalan *etapas distintas del proceso experimental*. El segundo es *a posteriori*, un resultado que *podrá haber salido contrario* a lo que salió, por lo tanto *empírico*. Si hubiese salido negativo, hubiese demostrado que las *predicciones de existencia* del cálculo, no se confirman. Por consiguiente es *necesario*, para armonizar con la realidad espacio-temporal, *cambiar de cálculo*. Encontrar uno con *diferente poder* predictivo. A esta situación experimental en que *se decide entre dos sistemas de cálculo* se le llama *experimento crucial*.

### 4. Del cálculo a la demostración

Dadas las dos series dentro de cuya relación de mutua coordinación *va a definirse el concepto de verdad*, el problema está en cómo se pasa de la una a la otra, a fin de que haya una *relación de adecuación*; pero dentro de un proceso esencialmente creativo, pues los elementos respectivos *necesariamente van variando* a medida que las diferentes *configuraciones del movimiento* van agregando a la serie de imágenes *nuevos elementos*. No sólo en cuanto van surgiendo *nuevas imágenes*, sino en cuanto *elementos de la serie de signos* van saltando a la otra. Este aspecto muestra la fecundidad de la concepción hobbesiana, ya que *reproduce un hecho muy significativo tanto del método como de la historia de la ciencia*. A saber, que aquello que en una *etapa* de la teoría experimental, surgida de la demostración como medio de relacionar una serie con la otra, forma *parte del cálculo  $K_n$* , en la *etapa siguiente puede figurar como imagen*, para ser explicada por un cálculo de *nivel superior  $K_{n+1}$* , el cual contiene a  $K_n$  *como un caso particular*. Así el principio general del método experimental consistente en *subsumir un elemento de A bajo una fórmula de B* sigue vigente sin romper la *continuidad de método*.

### 5. Ambigüedad del vocablo demostración

Vemos así porque la noción de demostración es a la vez *tan necesaria y tan elusiva*. Lo último proviene del sentido equivoco con que se la utiliza para *designar diferentes etapas* del método experimental; el uso hobbesiano-galileano, se refiere *no al resultado sino a la condición de posibilidad de  $E^*$* . La demostración no es *condición de la experiencia* de lo real sino de su *posibilidad*. O sea, que se *demuestran muchas cosas  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_i$  que no existen*. Pero en torno a la existencia de las cuales cabe *legítimamente hacerse la pregunta ¿Existe  $R_i$ ?* O sea, que la *comprobación de la existencia* de  $R_i$  no es resultado de una observación sin más ni más,

sino de una *pregunta* a la cual se *obtiene una respuesta*, positiva o negativa. Esto significa que la imagen de  $R_j$  que la mente contiene, *no puede ser la de un objeto concreto*, de esos de la vida diaria sino que lo *único que la mente puede tener es una definición funcional* de  $R_j$ , o sea  $R_j$  está expresada como un conjunto de relaciones constitutivas de  $E^*$ . El físico o químico experimental quien trabaja con un cálculo determinado, *anticipa la posibilidad* de que un objeto espacio-temporal sea subsumible bajo  $R_j$ . Esa es la función que cumple el *método experimental*. Exige, por consiguiente, la *construcción de conceptos y el diseño de experimentos para decidir* si esos conceptos son vacíos o no. El triunfo de tal concepción de la ciencia experimental se debe a la escuela de Galileo. Más su utilización más espectacular ha sido a través del invento de la Tabla de los Elementos de Mendeliev en donde se *anticipó la existencia de una serie de elementos aún desconocidos* en la práctica de laboratorio, pero cuyas propiedades químicas estaban *anticipadas en un cálculo*. Ello facilitó, ciertamente, su descubrimiento. Igual a como ocurre con las partículas sub-atómicas de la física moderna *a través del cálculo llamado mecánica cuántica*. O como ocurrió con el descubrimiento de *planetas jamás observados* a través del cálculo llamado Mecánica de Newton<sup>36</sup>. O de la transformación de materia en energía a través del cálculo *Teoría de la Relatividad*.

## 6. Demostración y semántica

La demostración como cambio revolucionario en nuestra manera de pensar, significa, por consiguiente, que las reglas semánticas referidas a un objeto pueden *pertenecer a dos categorías de pensar la realidad*: a posteriori, por ejemplo, cuando defino que es un avestruz porque lo he visto. O apriori cuando establezco, identifico funcionalmente el objeto, (el elemento químico radioactivo *carbón 14* descubierto por Libby) *antes de conocer su existencia empírica*. Se dice, en este último caso, que el objeto se demuestra en la intuición pura; y en el primero, no se habla de demostrar sino de encontrar empíricamente, en la experiencia. De esta manera la experiencia científica de *objetos* basada sobre una verificación experimental, tiene *condiciones radicalmente diferentes*, en cuanto a su origen, de la experiencia proveniente de un encuentro, no planeado, no anticipado por un cálculo, de los objetos de la experiencia cotidiana. *El origen de la confusión entre experiencia y experimento está en que ambos manipulan y se enfrentan a la intuición de objetos*. (El término "intuición" en el contexto de la filosofía crítica *jamás* tiene una connotación intelec-

tualista. Se refiere a la toma de *conciencia sensorial* de un objeto concreto. La interpretación que liga *intuición* con una manera no-sensorial y al mismo tiempo *no discursiva*, de conocimiento ha sido causa de los *peores y más permanentes malentendidos en la interpretación del kantismo*. El problema es, precisamente, la existencia de actos de *intuición a priori*... que es lo que *constituye*, precisamente, el valor de *conocimiento apodíctico* de la demostración). Más en el segundo caso estos eventos son *construcciones de una teoría*, no datos de una intuición empírica, como lo son los que forman el contenido de las *leyes inductivas*. Lo que el escepticismo humeano ha demostrado filosóficamente, es que a partir de los objetos de la *experiencia cotidiana* y admitiendo como legítimas tan sólo referencias empíricas, *excluyendo por lo tanto las construcciones con fundamento sintáctico y semántico a priorístico*, no es posible desarrollar la física galileana<sup>37</sup>.

Esta visión holística y crítica de la ciencia basada en el experimento parte del principio que la certeza tan sólo puede originarse en actos que están bajo el control de la mente. Por eso la sensación, aunque queda invitada al banquete del conocimiento no por eso actúa de cocinero disponiendo *a su arbitrio* sobre cómo organizar el conocimiento. *Participa pero no determina*. Solamente la *razón misma* puede garantizar su veracidad. Tal es la conclusión a que da lugar la adopción del método experimental. "Todos los investigadores de la naturaleza se dieron cuenta de que la razón sólo encuentra inteligible aquello que ella misma genera de conformidad con sus propios esquemas"<sup>38</sup>. Por consiguiente, no puede tratarse de una actividad empírica-inductiva. Ahí está la clave del misterio: *la validación no puede provenir del aspecto empírico-perceptivo, a posteriori*. Empero, si la actividad aunque empírica en su forma, es racional en su contenido, o sea, que una vez pensada, garantiza su validez, la objeción desaparece. Eso, es precisamente, lo que logra el principio de la demostración. Pero exige un precio: los elementos empíricos con que construye sus demostraciones no expresan simples *estados del organismo*, sino que tienen valor *intersubjetivo*. La demostración saviliana forma *parte integral* del método experimental, asunto que desde el comienzo Hobbes parece haber captado.

## 7. Demostración y texto hobbesiano

Si nos preguntamos de dónde deben surgir los principios que nos señalen un camino seguro hacia el concepto de ciencia, la respuesta parecería no ser otra que de *la filosofía hobbesiana misma*, puesto que él afirma haber sentado las bases para que su tratado sobre "el

Ciudadano (de Cive)" tenga un carácter científico igual al de la ciencia galileana del movimiento<sup>39</sup>. Lo cual implica que De Cive y Cinamática deben ser entendidos como dos casos de aplicación a ciencias particulares, independientes entre sí, de un mismo método. Pero ahora es necesario introducir una sutil pero esencial diferenciación internamente al propósito del sistema. Al plantear como fundamental la cuestión de método, se requiere *distinguir entre contenido y método*.

En una u otra forma esta ha sido eterna pregunta de la filosofía. Pero esta cuestión *exige ser planteada* dentro de un contexto holístico. No es concebible este problema sino referido a una idea específica sobre la *totalidad del conocimiento*. Totalidad de la cual forma parte integral el lenguaje que se utiliza. Siendo la tendencia de cada pensador a *considerar su propia manera de concebir la separación* de contenido y método, o de materia y forma, como parte de la estructura de la mente... Si, ¡pero dentro de una *determinada sintaxis!* Problema que tiene sabor de gran modernidad a través de la llamada filosofía de la ciencia en sus diferentes variantes y la diferenciación obligada entre meta-lenguaje y lenguaje-objeto. No es raro que en el momento de surgir la *ciencia moderna* como sistema, *los investigadores mismos se hayan preguntado* ¿por qué eso que estamos haciendo con rayos de luz, lentes y prismas, frente a otros actos como cantar, dormir, escribir, rezar,... puede tener la dignidad de ciencia?<sup>40</sup>.

Aventurándonos un poco en este tema, sin intentar desmenuzarlo más allá de ciertas generalidades: ¿qué significa separar método de contenido *al nivel de la especulación* hobbesiana sobre el saber científico? Una vez planteada la pregunta, la respuesta es menos complicada de lo que parece. Las ciencias comparten una característica en su propósito: Emitir juicios P, Q, R, S... organizándolos en un sistema lógico-deductivo, el cual, como es natural tiene referencia empírica. O puede trabajarse también de para atrás, reconstruyendo la operación que otorga referencia empírica a los juicios. En este segundo método se *construye primero el sistema o cálculo formal deductivo* para luego, a través de reglas semánticas infundirle *contenido empírico* a las fórmulas del sistema. Es bien sabido que la física experimental moderna trabaja con la *segunda opción*. (O quizás *siempre* ha sido así: por lo menos esa es la teoría de Hobbes y de Kant).

## 8. Sintaxis, referencia intuitiva y reglas semánticas

Pues bien, la *forma* de la ciencia se extrae de la estructura lógica de los juicios en que se expresa. O sea que la forma de la ciencia está plasmada en la *sintaxis de*

*sus juicios*. Y en cuanto al *contenido*, ¿al método? La respuesta a esta pregunta clave es: En la manera como se obtienen las *constantes empíricas* del cálculo. Las constantes con *referencia intuitiva*, operacional. En las cuales se *fundamenta* una coordinación de la referencia empírica a las estructuras formales de la sintaxis. O sea la *dimensión semítica* de los juicios científicos. El método, por consiguiente, equivaldría a las *reglas semánticas* que dan significado empírico a las estructuras sintácticas. Este, que parecería ser un descubrimiento de la Escuela de Viena en sus diferentes variaciones, es el problema con que se ocupa la *filosofía clásica* de Bacon a Kant. O ¿acaso debemos creer que los pensadores danubianos del Siglo XX han sido los únicos capaces de plantearse tales problemas? Tratándose de una *operación fundamental* de la mente cuando ésta establece las *condiciones que hacen posible el conocimiento científico*, no debe sorprendernos que quienes *inventaron dentro de su propio quehacer* el método científico hayan tenido suficiente capacidad de analizar con rigor sus *propios procesos* mentales y así haber, siguiendo una tradición, *dado un nombre a esas operaciones*: a saber, *demonstración*. De otra manera no habrían podido discutir entre sí sobre tales problemas.

## 9. Consecuencias de una ciencia holística

Al darle a la ciencia un carácter holístico tal como se ha expuesto en el último párrafo, varias consecuencias permitiendo diferenciarla de la unidad mecánica propia a los conocimientos inductivos, se nos presentan:

1. No es posible entender un sistema holístico desde afuera. Las coordenadas de inteligibilidad *surgen del sistema mismo y se definen implícitamente*, definiéndose operativa y recíprocamente, como los distintos personajes en una creación literaria como Don Quijote, Alicia en el país de las Maravillas, Pinocho, Fausto o Arsenio Lupin. Su unidad de *significado* no es ni puede ser otra que contextual. Constituyen un sistema de *vasos comunicantes*, como se dice hoy en día para explicar ciertos fenómenos sociales e históricos de *interacción recíproca*.

2. Lo que se llama generalidad o universalidad en una ley de la naturaleza, es algo muy diferente según si proviene de un *experimento* o de una *generalización inductiva*. En el método que procede por demostración no se presenta *jamás necesidad de regresar al punto de partida*. Tiene carácter apodíctico. Lo cual no excluye que al aparecer nuevos hechos sea necesario *revisar* los métodos de cálculo que definen la función "conocimiento científico".

3. Cuando entendemos la naturaleza en sentido *formal* como meta-ciencia o *meta-lenguaje del conocimiento* de los hechos de la naturaleza en sentido *material*, solamente conocemos esta última a medida que el proceso avanza en forma continua. O sea que un experimento puede considerarse fragmentable y tardar diez minutos o cien años en cuanto a lo que revela. Como ocurre con el experimento basado sobre la mecánica de Newton, hasta que *surge el nuevo paradigma* de los cuantos o de la relatividad. Existe a la base del método experimental un efecto de acumulación *relativo al cálculo* empleado.

4. El punto anterior se aplica a la naturaleza definida tanto en sentido material como en sentido formal<sup>11</sup>.

5. Kant extrajo las consecuencias epistemológicas del camino iniciado por Tales y Galileo quienes *fundamentan* la ciencia sobre la demostración. El camino propio e inevitable a todo sistema de definición implícita.

6. La posición kantiana de Einstein, (sin saberlo) inclusive negándolo, viene de una interpretación equivocada del a priori kantiano y de lo que debe entenderse por intuición.

Analicemos brevemente el significado de los puntos 1-6.

1. En cuanto al primero, o sea que no es posible entender el sistema desde una posición externa al conocimiento sino que cada parte obtiene su significado *internamente*, a partir de las reglas y estructura total del sistema, basta tomar en cuenta la manera como habitualmente *entendemos* (no como *practicamos*) un juego: ajedrez, fútbol, tenis, geometría hilbertiana, álgebra de grupos, hablar un idioma (latín, castellano o turco), o un médico examinado al paciente individual don Perico Pérez, para darnos cuenta de que el *proceso de entender está ligado internamente al objeto o evento mismo*. No en sentido psicológico (que tan familiares nos son los objetos de determinado tipo), sino en el de la validez de las dependencias funcionales (las variables definitorias, los conjuntos donde éstos toman sus valores, las constantes empíricas y situaciones iniciales -boundary conditions-) que constituyen el evento observado. Nadie puede dar a las cartas de naipes el mismo significado y relación funcional jugando tresillo que poker. Ni a la tabla y fichas del ajedrez, cuando lo que se está jugando es damas. De suerte que podemos equiparar el *instinto de jugar* al de *entender* juegos, incluyendo el conocimiento.

2. Las relaciones funcionales de un cálculo, viz la mecánica de Newton, y su relación con el evento subsu-

mible bajo él (nuestro sistema planetario) nada tiene que ver con generalizaciones de tipo sustancialista inductivo "Todos los cisnes son blancos"<sup>12</sup>. El evento, situado en el espacio, se presenta como una serie de relaciones perceptivas, que se dejan comparar con las del signo funcional presente en el cálculo, el cual tiene referencia espacial, sin ser un evento espacial. Se trata de aquella diferenciación epistemológica irreductible entre objeto y función estudiada por Frege. De ahí que la visión popperiana de la posibilidad de producir un caso falsificatorio de la teoría, resulta de no separar ciencia experimental de ciencia inductiva y, por lo tanto, carece de relevancia, se trata de un error proveniente de una equivocada apreciación sobre la relación entre signo funcional y experimento.

3. Dentro de la ciencia galileana no hay retroceso sino ampliación de las dos series, la de las imágenes y la de los signos. Si el método está bien aplicado no hay posibilidad de retroceso objetivo, aunque subjetivamente un investigador pueda comprobar que se equivocó. Como cuando se afirma que la mesa es exagonal, siendo en realidad octogonal. El error nace de haber atribuido validez objetiva a juicios en los cuales aún existen elementos subjetivos. La geometría del hexágono o del octágono sigue teniendo, a pesar de mi error fáctico, la misma validez apodictica.

4. La naturaleza en sentido material está dada en la serie de imágenes. La naturaleza en sentido formal está dada por las reglas que permiten combinar las imágenes entre sí o los signos del cálculo. En ambos casos se trata de funciones cuyas variables toman como valor elementos de las series de imágenes; o elementos de la serie de signos. Cómo se combinen los elementos depende de la función en que entren a figurar como constantes; o sea la regla que permita determinar el valor de la función cada vez que se satura la función con constantes. Por ejemplo la función: "...es una ciudad que tiene más habitantes que..." es una función en la que los vacíos marcados por... se llenan con nombres de ciudades: Viena, Sevilla, Granada, Nápoles, Cartagena, etc. etc.

5. La consecuencia que necesariamente resulta del proceso de conocimiento como una función entre las dos series, la de imágenes y la de signos, no puede ser otra que "Las condiciones de posibilidad del proceso de la experiencia son condiciones de posibilidad del objeto de la experiencia". O sea que la naturaleza material (objetos) queda definida a través de la naturaleza formal (posibilidad del proceso de la experiencia), la cual, ésta última, es creación de la mente y antecede a todo

experimento, pues es la condición constitutiva bajo la cual este es posible. "Estas condiciones permiten formular la pregunta a la cual el experimento E\*, con un evento espacio-temporal O\* provee la respuesta"<sup>43</sup>. La posibilidad de la experiencia en general es la ley suprema de la naturaleza (formal). Y los principios de la primera son leyes de la segunda (o sea que necesariamente se presenta bajo estas formas). Más en cuanto a contenido, o sea el evento u objeto concreto que se *subsume* bajo un modelo teórico, *tan sólo un experimento lo puede revelar*. De ahí que "debemos distinguir entre leyes empíricas (experimentales) las cuales presuponen para cada caso *percepciones* (objetos diferentes) y las leyes puras o generales (de la naturaleza), y con relación a estas últimas naturaleza y la posibilidad de la experiencia son la misma cosa"<sup>44</sup>. Debe observarse que la *generalidad* pertenece a la *forma no al contenido* de la naturaleza, como si es el caso para las leyes inductivas.

La opinión de Einstein conforma los puntos 1-5. Dentro del texto mis propias observaciones estarán encerradas en paréntesis angulares [...]. "Toda expresión lingüística está confinada al plano conceptual [tren de imágenes]. Los conceptos, [nombres-signos] en cuanto tienen alguna base son juzgados, desde un punto de vista lógico invenciones libres de la mente (igual que las proposiciones que los conectan). Pero esos conceptos y proposiciones obtienen su valor y su justificación exclusivamente [proceden de configuraciones de movimiento] a través de su ordenamiento a percepciones (Erlebnissen). No existe manera lógica para deducir conceptos y proposiciones de nuestras experiencias cotidianas (inducción) [los signos son creación del lenguaje]. Esto es igualmente verdad para conceptos como "rojo", "árbol", como para conceptos como "distancia", "átomo", etc. La diferencia está en el hecho de que los conceptos y proposiciones científicas reciben su conexión con las percepciones sensoriales de manera más indirecta y complicada [los de la vida cotidiana son de origen empírico; los otros, definiciones operacionales, demostraciones, son a priori] que no se refieren a la vida cotidiana. Además, el uso de números no implica una diferencia esencial entre el método de la ciencia y el del sentido común [en ambos el idioma es un cálculo]"<sup>45</sup>.

Las afirmaciones transcritas, dos años más tarde las complementa así: "Sigo creyendo que, en principio, no se puede establecer diferencia entre cualidades primarias y secundarias [ambas son perceptivas]. Es esencial para toda la física asumir un mundo real existente independientemente de mis actos de percepción [que es la causa del tren de imágenes]. Sin embargo, esto no lo

*sabemos*. Lo presuponemos dentro de nuestro trabajo científico. Este programa, es evidente, tiene un carácter precientífico y nuestro lenguaje cotidiano ya está basado en él. El concepto cuerpo-objeto (body-object) y forma (shape) no nos está dado directamente por nuestras impresiones sensoriales sino que son el resultado de una construcción de la mente. [Si hay diferencia entre cualidades primarias y secundarias] Que esto sea difícil de captar proviene de que esos pasos que todos damos en nuestra temprana niñez [a través del idioma de la experiencia, no del experimento] nos parecen una necesidad lógica. Pero esto no es así".

#### 10. Hobbesianismo y kantianismo dos sistemas, un mismo principio

Siendo el hobbesianismo y el kantismo dos casos de filosofía crítica -o sea, que coinciden *totalmente* en el metalenguaje de la ciencia- quizás ayude a establecer su comparación desde *afuera* -casi diría ad hominem- la siguiente observación: Para Kant la ciencia necesariamente está construida dentro de la subjetividad, más no se trata de la *subjetividad psico-somática*<sup>46</sup>. En cambio, para Hobbes, si queremos llegar a la ciencia tenemos que aceptar que toda imagen de la mente proviene del movimiento. Debemos, además, aceptar que tales eventos mentales, *combinados a través de la demostración* por un cálculo, son las que nos permiten construir la ciencia, y olvidarnos de los objetos, nacidos de una *ontología substancialista*, dados en la experiencia diaria. No sobra repetir que la mayor claridad sistemática de la exposición hobbesiana proviene de la independencia que asume, *ab initio*, de la *sintaxis aristotélica*, a la cual permanece, *todo a lo largo del sistema*, unido el sistema kantiano. Hobbes, además, jamás reflexiona sobre la veracidad apodictica de la ciencia bajo la égida de las dudas y argumentos que luego hace valer Hume contra *todo empirisimo inductivo* posible. Dudas y argumentos que se evaporan al plantear el conocimiento como constituido por la interacción del plano de imágenes con el plano de signos-cálculos. Veremos más adelante como esta interacción logra *validez intersubjetiva*.

Podemos dar término a estas reflexiones anotando que con el principio de demostración se resuelve la cuestión de la conexión necesaria que debe existir entre antecedente y consecuente en las proposiciones de la ciencia. En efecto, el método de generación dependiendo de la voluntad del artifice garantiza que el efecto sea consecuencia de la causa. Que el vínculo que une causa efecto y no es resultado de la mera asociación empírica sino de lo que la razón misma garantiza.

Y más adelante, dejando claramente establecido que la búsqueda de causas abarca tanto los temas de que se ocupa la geometría como los de la política, nos advierte: "Las partes principales de la filosofía son dos, ya que dos clases de cuerpos, bien diferentes el uno del otro, se hacen presentes a quienes investigan la manera de su generación y sus propiedades; una de ellas siendo resultante de la acción de la naturaleza la llamamos *cuerpo natural*; la otra se llama una *comunidad* siendo resultado de las voluntades y acuerdos de los hombres(...) empero, consciente de que el conocimiento de las cualidades de una comunidad exige previamente conocer las inclinaciones, afectos y costumbres del ser humano, la filosofía civil también se divide en dos partes(...) aquella que estudia sus deberes cívicos se llama *política*, o simplemente *filosofía*"<sup>47</sup>.

El tema de la filosofía vuelve a ser retomado al tratar en el estudio de la misma sobre *método*, "la manera más breve de descubrir efectos a través de sus causas conocidas; o causas a través de sus efectos conocidos. Empero, continúa, declaramos *saber que es un efecto* cuando sabemos que existen *causas del mismo*, y en qué *sujeto se encuentran esas causas*, y en qué *sujeto producen* y de qué manera ese efecto. Esta es la *ciencia de las causas*, o como la llaman, de las *dioti*. Frente a esta, "toda otra ciencia, llamada *oti*, es, o *percepción de los sentidos por la imaginación, o por la memoria* que queda después de tal percepción"<sup>48</sup>. De esta definición se desprende todo un *método para construir de manera sistemática* las ciencias de la naturaleza o sea la geometría, la cinemática y la física. Todas ellas se constituyen a través de *operaciones de raciocinio* como etapa necesaria en el proceso que *culmina en demostrar*. De ahí que, luego de explicar como surge aquella parte de la filosofía denominada Geometría, y aquella que trata del movimiento, "procedemos a averiguar e investigar cuáles sean *los efectos producidos por los movimientos de cualquier tipo* de partes de un cuerpo, como por ejemplo, a qué se debe que algunas cosas continúen siendo lo mismo, y sin embargo nos parezcan ser distintas. En este caso aquello que buscamos son cualidades sensibles, como *luz, color, transparencia, opacidad, sonido, olor, sabor, calor, frío*, y similares. Las cuales, al no poder ser conocidas hasta que conozcamos las causas de la sensación misma, por consiguiente la consideración de las causas de lo *visible, audible, olfateable, saboreable, y táctil*, están en este tercer lugar de clasificación. Y todas aquellas cualidades y cambios anteriormente aludidos están en el cuarto; y por consiguiente estas dos áreas últimas al ser consideradas abarcan esa parte de la filosofía que se denomina física"<sup>49</sup>.

Tenemos así un *esquema del conocimiento* estructurado a partir del movimiento "Las causas de todas las cosas universales (por lo menos de aquellas que tienen una causa) -líneas, igualdad... o sólido, visible, pensante...". Tienen todas una causa única: el movimiento. "La variedad de las figuras tiene su origen en la *variedad de movimientos que las genera*; y el movimiento no puede concebirse que tenga otra causa diferente del movimiento"<sup>50</sup>. Hasta ahí el principio general, el cual está complementado por un *principio que sirve de intermediación* para que existan juicios y por lo tanto ciencia; un sujeto, una mente capaz de ser afectada por el movimiento. De ahí que continúe diciendo: "tampoco la variedad de aquello que percibimos por los sentidos, *colores, sonidos, sabores etc. tienen causa alguna diferente del movimiento*. El cual reside *parte en los objetos* que afectan nuestros sentidos y *parte en nosotros mismo*, de suerte que viene a ser resultante de algún tipo de movimiento. ¿Cuál clase de movimiento?, eso *no lo podemos conocer sino mediante un raciocinio*"<sup>51</sup>. Si el sistema hobbesiano quedara *reducido a los dos elementos básicos, movimiento y cálculo*, no pasaría de convertirse en un modelo mecánico similar a los conocidos en la física, con capacidad explicativa a través de dioti. Sin embargo, en el sistema se ha introducido un elemento que va a alterar *radicalmente* la situación permitiendo salir del mecanismo abriéndole un *espacio de inteligibilidad* al fenómeno antropológico: el *sujeto* que reuniendo movimiento y cálculo, *emite los juicios* de la ciencia. Sin una teoría de este sujeto en su *dualidad* en cuanto *causa de la ciencia*, pero también en cuanto a *objeto* de ella, la teoría sería incompleta. La separación y delimitación entre filosofía natural, por una parte, y filosofía moral y política por otra, se convierte en un *imperativo*. Hobbes la lleva a cabo, no a través de un monismo de contenido sino *manteniendo la unidad del método demostrativo* en su doble aspecto, el sintético y el analítico, o una combinación de ambos.

El *punto de partida* de la filosofía natural y lo que la determina, de manera radical y perentoria, es la geometría. De ahí que "quienes estudian *filosofía natural* lo hacen en vano a menos que empiecen por la geometría; y quienes escriben o discuten sobre este tema, pero no saben de geometría, le hacen perder el tiempo a sus lectores y oyentes"<sup>52</sup>. Con esta aseveración termina el análisis de lo que es filosofía natural, continuando inmediatamente con la *filosofía moral y política*. Toda esa organización rigurosamente escalonada de la ciencia, dirigida a producir *conocimiento cierto*, está montada sobre un principio único que es el de las causas, el cual equivale a la demostración. De ahí que la frase concluya:

“Y en estas cuatro partes está contenido todo aquello susceptible de ser explicado en filosofía natural *por medio de lo que se denomina demostración* propiamente dicha”<sup>53</sup>. Aunque no hayamos llegado a una exposición clara de lo que significa demostración, -noción que requiere un examen multidisciplinario que abarque sus diferentes aspectos- los ejemplos de su utilización dentro del texto hobbesiano habrán despertado en el lector la clara impresión de que se trata de algo que no puede aceptarse solamente como equivalente a deducibilidad lógica. De algo relacionado con la actividad de la mente de generar *significados* inherentes a las expresiones *lingüísticas*. Y con ello *combinaciones de signos* susceptibles de *verdad o falsedad*<sup>54</sup>.

A partir de la ciencia física nos adentramos en la filosofía moral y la política en las cuales “*consideramos los movimientos de la mente*, o sea, apetencia, aversión, amor, benevolencia, esperanza, temor, rabia, emulación, envidia etc... sus causas y, a su vez, *de qué son ellas causa*. Y la razón para que todas estas cosas deban investigarse en el orden establecido anteriormente proviene de que la física no puede entenderse sino bajo la condición de que sepamos primero cuáles sean los de las partes más pequeñas de los cuerpos así que debemos averiguar las causas del movimiento simple (en eso consiste la geometría)... en seguida los tipos de movimientos generados que se dejan observar; y finalmente los tipos de movimientos internos, no visibles (los cuales constituyen el terreno de investigación de los filósofos de la naturaleza)”<sup>55</sup>. Esta sección en que se establece el orden en que los diferentes conocimientos de la razón (todos se refieren al descubrimiento de causas) es de importancia fundamental en la exposición que conduce a Leviathan. En ella se descarta el modelo sensualista de la mente como una *tabula rasa*, base del mecanicismo atribuido a Hobbes por quienes no toman en cuenta la clase de fenómenos a que hace referencia<sup>56</sup>. El resultado de *convertir la mente misma* y lo que ella contiene y genera en *objeto observable y analizable en términos de causas* introduce toda una serie de principios *excluidos de la etapa anterior*. El organismo individual -siguiendo principios filogenéticos-, en tanto que *creación de Dios*, está *programado como intermediario* entre movimiento y conciencia. Hobbes decididamente, *no es partidario de la separación absoluta entre, la res cogitans y la extensa*.

Al introducir este nuevo plano de observación y análisis, Hobbes *elimina el antropomorfismo* inmanente a la física aristotélica de los fenómenos espacio-temporales, reduciendo su explicación a geometría (hoy diríamos a funciones y conceptos operacionales de la física experimental), por una parte, y por la otra, excluye

la reducción de la *filosofía civil* a modelos (formas de cálculo y de demostración) mecánicos. El análisis antropológico y filogenético adquiere, así, personería científica como *conocimiento indispensable* para entender y gobernar el *comportamiento* de los hombres. La importancia de esto sale a relucir de manera espectacular en la *introducción de Leviathan* donde el *nosce te ipsum* conócete a ti mismo, se consagra como *método y meta* de la filosofía moral y civil. Los interesados en la Filosofía Natural hobbesiana deben estudiarla con atención, dándole a cada término el significado que tiene dentro del texto y contexto del sistema, en el *orden determinado por el autor*. Así lograrán establecer la frontera, la *interface*, entre la filosofía de la naturaleza y la de la moral y la política, como es el *propósito* de Hobbes mismo. En el Capítulo III volveremos sobre este aspecto de Leviathan, el cual, aunque expresado sin ambigüedades por Hobbes, parece haber eludido la mirada escudriñadora de quienes están *empeñados* en sustentar el materialismo y consiguiente ateísmo de Hobbes. Tener un empeño está bien, más no cuando lo enceguece a uno *frente a la luz misma que sale del texto y del contexto* de un pensador de la talla de Tomás Hobbes.

## 11. La ciencia de la conducta humana

El párrafo No. 7 de la sección sobre Método de la Filosofía empieza por advertirnos que la filosofía civil y moral no constituyen una unidad integral “sellada” con la filosofía de la naturaleza sino que *pueden ser consideradas por separado* ya que “las causas de los movimientos de la mente pueden ser estudiadas no sólo por raciocinio sino también a través de la *experiencia de cada persona* que se dé el trabajo de observar estos movimientos *dentro de sí misma*. Y por consiguiente (concluye), no sólo aquellos que han obtenido el conocimiento de las pasiones y afecciones de la mente por el *método sintético* y a través de los auténticos primeros principios de filosofía pueden, empleando el mismo camino. Llegar a los conocimientos relativos a las causas y necesidad de constituir comunidades, el conocimiento de lo que sea derecho natural, y los deberes cívicos”<sup>57</sup>. Todo lo que se refiere a la filosofía civil es obtenible no sólo por el método sintético sino que *puede lograrse también* por el método analítico. Con base en esa nueva apertura a la vida de la mente, adquiere personería propia la conciencia o interioridad, obteniendo *autonomía de significado* -no separación absoluta- la filosofía civil *frente al cálculo del mundo del movimiento*<sup>58</sup>. Lo que equivale a afirmar que el *fenómeno humano* está referido a coordenadas y determinantes *propios*. Requiriendo métodos de investigación, también

basados en el tren de imágenes *acoplado* a un sistema discursivo o de cálculo. El cual bien puede ser el de las instituciones sociales y las de la cultura histórica. Incluyendo, como parte de la experiencia histórica, los *principios* de la Revelación (o del reino de la luz) como llama Hobbes a la Iglesia Cristiana.

De esta manera, el hobbesianismo deja abierto un *camino racional* para analizar el problema de las *ciencias de la cultura*. Lo que significa que un mismo mundo físico es *calculable con diferentes cosmo-visiones en cuanto al mundo histórico*. Por esta apertura, y también basado sobre el principio de la demostración tal como lo formula Hobbes, se aumenta la capacidad de reflexión filosófica de manera a producir frutos de la mayor calidad; Gianbattista Vico, a través de su Ciencia Nueva (quien reconoce su deuda con Hobbes, y en *especial con Bacon*). Empero, y ello es esencial, referidas -esas dimensiones no-materialistas- a diferentes configuraciones del movimiento. Este aspecto del pensamiento hobbesiano, paralelo al kantiano donde se fijan límites a la razón especulativa, merece ser estudiado con mayor profundidad. Sin duda alguna abre *perspectivas interesantes para analizar* el llamado *conflicto* entre el cálculo de la ciencia y el de la religión. Debe anotarse, por otra parte, que para Hobbes el *subjetivismo del tiempo y del espacio* no se presenta en la *dimensión metafísica* kantiana. Hobbes, simplemente, *descarta* el objeto sensorial -*aquello que se puede morder; tocar, oler...* - en *cuanto a que sea* objeto del conocimiento propio al *método de la filosofía de la naturaleza*, -no al de la experiencia *sico-somática* del organismo. Mientras que Kant envuelve todo en el misterio ideal-trascendental del tiempo y del espacio como manera de explicar el carácter *a priori* del conocimiento geométrico<sup>39</sup>. Posiblemente, estén diciendo la *misma cosa*. En esa eventualidad, nos *está haciendo falta* un diccionario "ilustrado" del hobbesianismo-kantismo.

## 12. Las etapas recorridas

Conviene recapitular sobre las *etapas* que recorre la mente antes de llegar a la ciencia "En todo discurso dirigido al conocimiento se llega a un final, sea porque se logra, sea porque se traslada. Y la cadena del discurso, si el discurso es solamente mental, consiste en pensamientos de que algo será. O que ha sido o que no ha sido, o alternativamente, que algo será o que no será. De manera que, al romper el encadenamiento del discurso de un hombre, se le deja en la presunción de que algo será o no será; ha sido o no ha sido. Todo lo cual es opinión. Y aquello que es un apetito alterno. Ningún

discurso cualquiera que sea puede terminar en un conocimiento absoluto sobre un hecho pasado o por venir. En cuanto conocer un hecho, ello es originalmente percepción; y luego memoria. Pero en cuanto al conocimiento de consecuencias, que como he dicho antes se llama ciencia, no es algo absoluto sino condicional. Ningún ser puede saber por un discurso que esto o aquello es, ha sido o será; lo cual sería un saber absoluto. Tan sólo que si tal cosa es, entonces tal cosa será; si esto ha sido, entonces, aquello ha sido".

Basándonos en estos principios pasaremos en el Capítulo III a analizar a Leviathan como "ese producto del arte del hombre no es más que un hombre artificial pero de mayor estatura y fuerza que el natural(...)" como señala la Introducción, advirtiendo, además que para entender plenamente sus funciones debe recurrirse al método introspectivo, ya que "en estas materias no es posible demostración diferente"<sup>40</sup>. Sin embargo, para ubicar a Leviathan dentro de la filosofía hobbesiana dentro de la cual la científicidad de algo consiste en la correspondencia unívoca entre elementos de series mentales y elementos de series de signos (el cálculo), se revela como necesario preguntarse: ¿es Leviathan una serie de contenidos de conciencia, o es Leviathan un cálculo? O la tercera posibilidad: ¿está presente Leviathan a ambos niveles, el de la experiencia de la mente y el del sistema de cálculo o raciocinio? Para poder responder a esta pregunta es necesario exponer con toda precisión la teoría de la ciencia como compuesta por las dos series. Ella revela un original y generalmente incomprendido, peor aún, ignorado aspecto de la teoría de Hobbes, siendo así que constituye, con el principio de demostración, el nervio epistemológico de su teoría. Así que procedamos a esta importante exposición de la ciencia como correspondencia entre dos series de nombres y signos.

"Con la imposición de nombres, algunos poseedores de una significación amplia, otros más restringida, convertimos el cálculo de las consecuencias presentes en esos objetos (imágenes) de la mente en un cálculo de las consecuencias (relaciones de implicación) presentes entre los signos o apelativos de ellas". Para mostrar como opera esta *correspondencia de adecuación* entre dos series lo cual *constituye la estructura misma* del conocimiento científico, Hobbes nos da, a continuación, el siguiente ejemplo "un hombre privado de manera absoluta del uso del idioma, (de esos que nacen y permanecen sordos y mudos), al tener un triángulo delante de sus ojos, y junto a éste dos ángulos rectos (de esos que forman las esquinas de un cuadrado), podría, reflexionando hacer una comparación y percatarse que los tres ángulos del

triángulo equivalen a los dos ángulos rectos que están a su lado. Pero si se le sitúa frente a otro triángulo de diferente forma el no sabrá, sin darse otra vez el trabajo de comparar, si los tres ángulos de ese segundo también son equivalentes a lo mismo. Empero, aquél que disfruta del uso de la palabra, cuando observa que esa equivalencia no proviene de la longitud de los lados, ni de algo peculiar a ese triángulo, sino exclusivamente del hecho de que los lados son líneas rectas y los ángulos son tres, y que esa fue la razón para darle el nombre de triángulo, habrá de concluir de manera general, que tal equivalencia es la misma para cualesquier triángulo. Y habrá de tomar nota de su descubrimiento diciendo: *En todo triángulo la suma de sus tres ángulos equivale a dos rectos*<sup>61</sup>. Esta conclusión se hace posible por que en la *segunda etapa* la mente está operando con el cálculo, y no con imágenes, las cuales siempre se refieren a casos particulares, de los cuales *cada uno* cae bajo la *palabra* triángulo. En términos modernos, el *cuantificador lógico* universal “*todos*” no es un dato de la *percepción* sino una de las partículas lógicas propias a un cálculo. O sea que *sin el cálculo y su sintaxis*, no puede la mente *ni concebir ni transmitir* juicios universales. De ahí concluye: “De esta manera la relación de consecuencia hallada en un caso particular queda registrada y recordada como *una regla universal*, liberando así, nuestro *cálculo mental* de condiciones de *lugar y tiempo*, eximiéndonos de todo trabajo de la mente, excepto del primero. Por lo tanto lo que se *encontró ser verdad ahora y aquí se ve como verdad en todo tiempo y lugar* “El ‘primer’ trabajo como se desprende del ejemplo, consistió en pensar que la suma de los ángulos de un triángulo particular equivale a dos rectos. -o sea la *equivalencia de dos imágenes*-. Necesario es anotar, que el hecho de concebir la suma implica aplicar el concepto de “suma de ángulos”. Pero no referida a un concepto general “triángulo” sino a uno particular “este triángulo”. Por consiguiente, el ejemplo nos ilustra cuál es la relación entre *serie de imágenes* -donde también se suma y se resta- y *serie del cálculo*. Mostrándonos como pueden surgir, tanto entre imágenes como entre signos estas *relaciones de consecuencia*. O sea de *causalidad necesaria*. El problema está, evidentemente, en cómo darle validez apodictica a las relaciones en que interviene el *cuantificador universal*.

La doctrina queda expuesta con toda claridad. Se trata de *entender a cabalidad* el papel que desempeña el habla como elemento *constitutivo* de eso que llámanos, saber. O sea, *partiendo* de la existencia del idioma, un análisis cuidadoso revela: 1. La mente está en posesión (o tiene *capacidad de generar*) estructuras lógicas (sintaxis y su aparataje de operadores, partículas lógicas y no-lógicas,

reglas de composición, etc.) las cuales estructuras. (en esta etapa el problema de verdad o falsedad *aún no es definible*). 2. Al ser completadas (etapa semántica) con *constantes intuitivas* (aplicando reglas de significado de las constantes *no-lógicas*) las fórmulas del cálculo adquieren contenido *determinando* un saber, una ciencia. Pasar de la etapa 1 a la 2 implica una operación de la mente generativa de proposiciones *con referencia empírica*, de funciones *saturadas* (en las cuales ya no quedan espacios sin “llenar” -Frege-) mediante constantes no-lógicas, las cuales son, ahora si, *expresiones lingüísticas susceptibles de ser verdaderas o falsas*. Expresiones que nombran *relaciones de consecuencia*. O sea que expresan relaciones causales, por la manera como el artifice demuestra la *consecuencia* (efecto) como originada en una causa (*antecedente*).

### 13. Referencia empírica sin causalidad empírica

No se trata de preguntarnos, como en el empirismo en sus diferentes variantes, ¿cómo es posible que *a partir de ciertos elementos* (la percepción) lleguemos a tener un conocimiento objetivo del mundo? Para Hobbes esa sería una pregunta propia a una mentalidad *anterior* a la escuela de Padua. Su punto de partida es: Tenemos, como *dato del saber apodictico*, un conocimiento del mundo a través de juicios de consecuencia, paradigmáticamente la geometría, pero *también* tenemos algunas maneras de conocer, que no son ciencias sino maneras de describir y manipular para *finés prácticos de vida diaria*, esa realidad de la cual hablamos como compuesta de *objetos externos al sujeto*: ¿En qué consiste esa realidad del habla cotidiana, la cual nos suministra un cierto tipo de conocimiento? Y en segundo lugar: ¿cómo pasamos de esa forma de utilizar el habla al uso científico? El conocimiento es de dos clases: El uno es *conocimiento de hechos*; el otro *conocimiento de la consecuencia de una afirmación con otra*. El primero no es sino conocimiento de la percepción y la memoria y es *conocimiento absoluto*, como cuando presentamos un hecho o recordamos qué sucedió. Este es el conocimiento que requiere de un testigo. El segundo se llama *ciencia*, y es *condicional*, por ejemplo, *si una figura es un círculo, entonces toda recta que pase por su centro lo divide en dos partes iguales*<sup>62</sup>. Claramente, por el ejemplo, se establece que lo condicional no se refiere a la *verdad del juicio* sino a su *forma lógica*, la manera como están vinculadas antecedente y consecuente. Lo que se convierte en la *definición de ciencia*, a cuya base está la *demostración* (Ver nota No. 61).

Lograr definir y explicitar esa diferencia entre dos maneras cualitativamente diferentes de *conocer* se convierte en *condición necesaria* para definir lo que es ciencia. El conocimiento *implícito* en el trato cotidiano con *las cosas* lo llama Hobbes, *previsión, prudencia, o providencia*. Y sobre ello nos advierte: "Sin embargo, lo que distingue al hombre del animal no es la prudencia, (ésta) es una presunción hacia el *futuro* basada en la *experiencia del pasado*; también existe una presunción de cosas del pasado, deducida de otras cosas que no son futuras sino pasadas también. Aquel que haya visto de qué manera y a través de qué escalación de hechos un Estado próspero cae primero en la contienda civil y luego en la ruina, enfrentado a la ruina de cualquier otro Estado concluirá que las *causas de ello fueron las mismas contiendas y los mismos acontecimientos*. Pero esta conjetura tiene el mismo grado de incertidumbre que la del futuro; las dos están basadas únicamente sobre la experiencia<sup>63</sup>. Vemos aquí afirmado de manera explícita que la ciencia, si bien nos enseña y nos guía en nuestra acción frente a las cosas, *no está fundamentada sobre la experiencia* ¿qué será entonces lo que diferencia, *enfrenta*, ciencia y experiencia? Estamos frente a dos posibilidades: ciencia y experiencia pueden ser diferentes en cuanto que, a) la ciencia, si bien *no proviene* de la experiencia (entendida como prudencia), si está *referida* a ella; siendo un medio para explicarla. O sea que *la experiencia de los objetos espacio-temporales está compuesta, en cierta manera, de hechos contruidos por la teoría que nos los presenta científicamente*; b) explicar la experiencia, o sea la percepción de lo *particular*, requiere encontrar su *causa necesaria*. Pero bien sabe Hobbes que la relación de necesidad entre antecedente y consecuente no puede ser resultado de la experiencia sino que tiene origen en la razón. *O sea que se trata de una relación entre las partes de un juicio en el cual el antecedente implica, por necesidad, el consecuente*. Explicando la *relación de necesidad*, en función de la *razón misma*, la cual, no obstante, expresa relaciones funcionales aplicables a la experiencia, logrará Hobbes definir de manera clara e inequívoca el principio constitutivo de lo que *debe* entenderse por ciencia.

La pregunta ahora es: ¿Cuáles son esos juicios que, referidos a la experiencia llevan, sin embargo, el *sello indeleble* de la necesidad? La *respuesta* está dada por la demostración saviliana. Con esto el principio de la demostración se convierte en el *eje epistemológico del pensamiento hobbesiano* sobre lo que debe entenderse por ciencia. Debemos, sin embargo, con el fin de captar el rigor lógico del sistema ocuparnos de la manera gradual y precisa "en relaciones de consecuencia" como ello

ocurre ya que *el saber mismo*, como tema tiene *categoría de ciencia*.

#### 14. El principio de causalidad y su fundamento

La idea de *necesidad causal* que liga antecedente con consecuente en un cálculo como la de expresar la ciencia de *manera intersubjetiva* provienen de una misma fuente: la *capacidad de hablar*. La primera pregunta es, por consiguiente, ¿qué es el habla? A este tema está dedicado el Capítulo IV de Leviathan. Constituye el nervio vital de la teoría hobbesiana, no sólo del lenguaje, sino de la manera *cómo a través de éste se llega a la ciencia*. Arranca *toda* esta sutil arquitectura del conocimiento de aquella consideración que Hobbes considera su *más grande descubrimiento* ya que sobre él se fundamenta no solamente *la coherencia interna del sistema* sino su más importante principio de *método*, (el lenguaje como *cálculo*) a saber: "...nadie tuvo el acierto de captar que *la luz y el color son tan sólo imágenes dentro de nosotros, y no atributos de las cosas*". La *consecuencia inmediata* de aceptar tal principio, como lo hemos repetido a lo largo de este estudio, consiste en que aquellos objetos de la *realidad cotidiana*, si bien son algo real, *externo a nuestro organismo*, no pueden ser los objetos de la ciencia física de *manera directa*. Tan sólo a través de un sistema de cálculo que los describa en términos de *movimientos diferenciados*, podemos convertirlos en *objeto de ciencia* y así ganar *control* de su comportamiento espacio-temporal, vale decir, manipularlos según nuestros deseos y conveniencias<sup>64</sup>. "El uso ordinario de hablar consiste en pasar del *discurso mental a uno verbal*; del tren de pensamientos a uno de palabras. Y ello para lograr lo siguiente por una parte registrar la manera como nuestros pensamientos se suceden unos a otros (registering the consequences of our thoughts) los cuales pueden escaparse de nuestra memoria colocándonos en una dificultad, pueden también ser recuperados por medio de aquellas *palabras con las que los asociamos* (they were marked by). Así que el primer uso de los nombres es para servir de *marcas, o anotaciones* a fin de recordar. Otro uso consiste en el que hacemos de las mismas palabras para significar (a través de su orden y manera de conexión) entre dos individuos, aquello que piensan o conciben sobre cada cuestión; o aquello que desean, temen o cualquier otro sentimiento que les embargue. Para este uso se les denomina *signos*"<sup>65</sup>. El empleo de signos en el habla, tal como lo entiende y aplica la filosofía hobbesiana, equivale a producir *un sistema de cálculo*. Tan sólo a través de esta operación de la mente calcular, pueden establecerse las bases de la *física experimental asociada al nombre y método de Galileo*.

Esta manera de utilizar el habla para comunicar con otro por medio de un cálculo se llama *demostrar*. De esta manera, lo que originalmente (el tren de imágenes) tenía un carácter *personal* pasa a tener *validez intersubjetiva*. Precisemos: la *operación de la mente* que da este paso de la asociación puramente subjetiva, viz empírica a una general, con validez necesaria e intersubjetiva *expresa*, implica una creación de la mente, la cual permite pasar del tren de pensamientos de quien *inventa* algo, a un tren de palabras, un cálculo, que el otro a quien se *demuestra*, capta y entiende, rompiendo así el solipsismo inicial. Ahí, en esta operación, aparece con toda claridad la diferencia entre demostrar y deducir: la deducibilidad lógica es una operación *interna* al cálculo. La otra establece relación entre cálculo y tren de pensamientos. Obtiene su validación de la naturaleza, expresión empleada frecuentemente por Hobbes para indicar aquello que se basa no en la percepción ni en la razón *particular de cada individuo*, sino en la que sirve de supremo criterio a la cientificidad. “La razón es por sí misma siempre una razón exacta, como la Aritmética es un arte cierto e infalible. Sin embargo, ni la razón de un solo hombre ni de un número cualquiera de hombres sirve de fundamento a la certeza. Ni un cómputo puede declararse correcto porque un gran número de personas le haya impartido aprobación unánime. Por tanto, así como desde que surge una controversia respecto a un cómputo, las partes, de común acuerdo, y para averiguar la verdadera razón deben fijar como criterio de ella la razón de un árbitro o juez, en cuya decisión pueden ambos sustentarse (por carencia de lo cual la controversia o bien termina en una disputa o quedaría sin decidirse por cuanto no existe una razón originada en la Naturaleza), así ocurre en todas las disputas cualquiera que sea su género”<sup>66</sup>.

Hemos llegado así a un punto de la filosofía hobbesiana en donde sus diversos elementos, suficientemente diferenciados, permiten presentar una definición, en lenguaje moderno, de lo que se entiende por demostración. *Demostración es aquella operación de la mente que permite, para fines de mostrar y hacer entendible a otro lo que hemos pensado, 1. señalar el cálculo específico  $K^*$  empleado por el que habla (la lógica del silogismo de Aristóteles; la sintaxis de la geometría euclídea o la de la mecánica de Newton, para dar tres ejemplos) y, 2. determinar las reglas (definición semántica de las constantes no-lógicas del cálculo) que proveen las constantes empíricas de  $K^*$  con referencia empírica; y 3. Precisar las constantes empíricas mismas (provenientes del tren de imágenes asociado a  $K^*$ ) que transforman a  $K^*$  en una serie de proposiciones, (una teoría científica)  $T^*$ . Así, transformado  $K^*$  de función*

proposicional sin contenido empírico, en relaciones funcionales con *definiciones operativas* se constituye, en términos de la ciencia experimental moderna, un *modelo teórico*. El paso siguiente, como es bien sabido, consiste en diseñar el experimento que permite establecer si un evento espacio temporal determinado  $Ex^*$  constituye un *caso particular de  $T^*$* <sup>67</sup>.

Esta manera de definir, en lenguaje de la actual Filosofía de la Ciencia, lo que debe entenderse por demostración coincide con lo que enseña De Corpore: “Es propio a una demostración metódica, Primero, que exista una verdadera sucesión de una razón a otra, de acuerdo con las reglas del silogismo arriba establecidas. Segundo, que las premisas de todos los silogismos hayan sido demostradas a partir de las definiciones iniciales”. Es claro que la demostración es algo que precede y sirve de fundamento a la verdad de la conclusión que es obtenida a través de la deducción formal propia al silogismo. Y la doctrina continúa: “Tercero, que luego de las definiciones, aquél que *enseña o demuestra* algo proceda siguiendo *el mismo método por medio del cual lo descubrió*, o sea, que en primer lugar se demuestren aquellas cosas que proceden, en forma inmediata, de las definiciones universales (lo que comprende aquella parte de la filosofía llamada *philosophia prima*). En seguida, aquellas cosas que pueden ser *demostradas por el movimiento simple* (lo que constituye la geometría). Luego de la geometría aquellas cosas que pueden ser enseñadas o mostradas por una acción visible, es decir, empujando desde, o jalando hacia. Y luego de éstas el movimiento o mutación de las partes no visibles de las cosas y la doctrina de lo *perceptible e imaginable*. Igual que la de las pasiones, especialmente *aquellas de los humanos*; en donde quedan comprendidas las bases de los deberes cívicos o, sea, lo que *viene en último lugar*, la filosofía de la sociedad”. Como advertencia final, enfatizando la necesidad de utilizar rigurosamente el método que procede demostrando y va de una ciencia a otra, dice: “Que este método debe ser seguido en toda manera de filosofar, es algo evidente pues esas cosas que he dicho deben ser enseñadas al final, no pueden ser demostradas (o sea que son expresiones carentes de *referencia empírica precisa*,) hasta que aquellas que se han tratado primeramente sean *totalmente inteligibles*”<sup>68</sup>.

Es necesario aquí advertir al lector algo de gran importancia. Un *caveat* que, de no ser tomado en cuenta, *impide captar el significado* de la argumentación hobbesiana: La noción de un tren de imágenes o ideas, no debe tomarse como un hecho de carácter *puramente subjetivo*, de carácter exclusivamente psicológico como

un dolor de muela o la sensación de calor. La teoría perdería su capacidad explicativa si esto fuera así. Las imágenes de la mente forman parte de un circuito de movimiento que arranca de afuera y, a través de los órganos perceptivos produce tales imágenes internas al sujeto. Estas imágenes son testimonio de objetos externos. Ahora bien, cómo sea la realidad en sí de tales objetos, es precisamente el problema que Hobbes se precia de haber solucionado como se desprende de la cita de De Corpore hecha al iniciar nuestro Primer Capítulo, y que por su importancia para lo que estamos ahora tratando conviene repetir: “¿Por qué una cosa aparece unas veces más grande, otras más pequeña, en veces cerca otras lejana, una vez de tal forma y otra vez de otra?, es algo que hasta donde yo se, nadie ha aclarado de manera convincente aunque muchos han intentado hacerlo. Lo cual no me sorprende ya que nadie tuvo el acierto de captar que la luz y el color son tan solo imágenes dentro de nosotros y no atributos de las cosas”. Bien es sabido que lo mismo ocurre con cada una de las cualidades perceptivas que normalmente atribuimos a los objetos que afectan nuestros sentidos<sup>69</sup>. Por consiguiente, no es el contenido subjetivo de los datos de la conciencia del idealismo berkelyano lo que interesa a Hobbes sino el hecho de que tales contenidos testimonian un hecho: la forma diferenciada como el movimiento se presenta al ser humano debido a la conformación de su organismo. La objetividad del mundo externo se origina en el hecho de que la mente, a través de la geometría, ha construido y demostrado la ciencia del movimiento. Lo cual le da (al movimiento) el carácter intersubjetivo y necesario que la ciencia requiere. “Porque la variedad de todas las figuras se origina en la variedad de aquellos movimientos que son su causa; y el movimiento no es inteligible a través de nada salvo el movimiento mismo. Ni la variedad de esas cosas que percibimos por los sentidos, como colores, sonidos, sabores, etc., tiene causa distinta del movimiento mismo localizado en los objetos que afectan nuestros sentidos y parte dentro de nosotros mismos. De tal manera que es evidente que se trata de un movimiento aunque no nos sea posible saber de qué clase, sino a través de un raciocinio<sup>70</sup>. De manera que la objetividad de las cosas, y de manera paradigmática el movimiento, proviene del hecho de que los fenómenos en que se presentan pueden ser reducidos y expuestos en un cálculo. Siguiendo a Frege, hoy diríamos que son fenómenos representables a través de relaciones funcionales.

## 15. Unidad del sistema y su inteligibilidad.

### Conclusiones

Tanto el aspecto formal, como el contenido del invento hobbesiano de derivar la científicidad del conocimiento

de un ordenamiento o correspondencia entre tren de pensamientos y tren de signos son algo inteligible a primera vista. Lo que no se percibe con igual prontitud y facilidad, por exigir experiencia y reflexión (abandonando postulados inductivistas y empiristas tradicionales), frente a la manera como proceden tanto la Geometría como las Teorías de la Física Moderna, son las importantísimas consecuencias que de este invento se derivan. Veamos cuáles son algunas de ellas.

a) Restablece diferentes niveles, cuyos elementos pueden ir variando, tanto en cuanto a las series como al cálculo. La identidad ontológica de un elemento no depende de sí mismo sino de la serie dentro de la cual está siendo considerada como elemento.

b) Un signo del cálculo  $K_n$  puede, con relación a otro cálculo más general, de mayor poder predictivo,  $K_{n-1}$ , pasando a ser elemento de la otra serie, convertirse en imagen.

c) La combinación de a) y b) permite establecer verdades relativas a cada serie específica, presente en un momento histórico dado del saber científico; y a la del cálculo que le corresponde provisionalmente. Por consiguiente existe una verdad definida en función del nivel de generalidad del cálculo. Este aspecto, de tipo formal, es tema de las matemáticas puras.

d) El lenguaje diario de objetos correspondiente a los juicios de tipo aristotélico, permite hacer todas las correcciones, manteniéndose a ese nivel, lo cual permite evitar los errores de los sentidos provenientes de no considerar las circunstancias que alteran los resultados que, (por un error de expectativa psicológica, proveniente de hábitos asociativos), esperábamos ocurriese. Ilusiones comunes en materia óptica, por ejemplo.

e) El lenguaje de la física galileana define otras series tanto a nivel de imagen como de cálculo para establecer las funciones que utiliza también a ese nivel, que es el de la demostración; existen niveles de mayor o menor abstracción según el cálculo y el tren de imágenes correspondiente. Así, la física avanza porque toma, para dar un ejemplo, las leyes de Kepler, probando por medios deductivos, que son un caso particular de las de Newton. Y éstas a su vez, un caso límite de la Teoría de la Relatividad. La cual utiliza un nuevo cálculo. (la geometría riemana) para la cual la euclídea es un caso límite (el de un espacio con curvatura cero).

Cada cálculo debe ser demostrado, y ello ocurre mediante las constantes empíricas que le son propias. Leviathan es el cálculo de los pactos; y por eso, para

*demonstrarlo* se le llama "un hombre artificial pero más grande que el natural". Porque así, al *antropomorfizarlo*, sabemos como calcular su comportamiento *holístico*. Y con esta observación pasamos al Capítulo Tercero y último de nuestro estudio.

### Capítulo III

#### Demostrando a Leviathan

##### 1. Causalidad entre nombres, no entre objetos

Continuando con las ideas expuestas por el mismo Hobbes, en *cualquier* ciencia la demostración es un procedimiento para establecer relaciones *necesarias* de causa a efecto y *posibles* de efecto a causa. Sin embargo, es asunto capital del sistema hobbesiano que tales relaciones de causalidad no son *detectables* por la mente a nivel de objetos sino de *nombres* de objetos ¿Cómo puede existir una relación *necesaria* entre nombres de objetos? He ahí la pregunta de cuya respuesta *depende la coherencia y solidez* del sistema hobbesiano. El asunto va cobrando mayor claridad cuando se nos explica que raciocinar quiere decir computar o sea "recoger en suma las muchas cosas que se adicionan unas a otras, o saber que queda cuando se sustrae una cosa de otra"<sup>70</sup>. Y luego continúa "Por lo tanto todo raciocinio consiste en una de estas dos operaciones de la mente"<sup>71</sup>. Nuestra actividad de raciocinar, tan sólo pensando, sin utilizar palabras también adiciona y sustrae. "Si un hombre ve algo en la lejanía y en la oscuridad, aunque aún no haya utilizado ningún vocablo para nombrar nada, él tendrá, de todas maneras la misma idea sobre aquello para lo cual hoy, al imponer un nombre, utilizamos la palabra "cuerpo". Si al acercarse ve la misma cosa de una u otra manera, ahora en un lugar, luego en otro, él tendrá una nueva idea de aquello, o sea de algo para lo cual hoy utilizamos la palabra "viviente". En tercer lugar, si al acercarse, percibe una figura, oye una voz y percibe otras cosas que son señales de una mente racional, él concibe otra idea, aunque aún no tenga nombre para ella, y ésta es aquello a lo cual hoy damos el nombre "racional". Si finalmente al contemplar con atención y plenamente él concibe todo lo que ha visto como una sola cosa, le surge una idea compuesta por las anteriores, las cuales se juntan en su mente en el mismo orden en que estos nombres simples, "cuerpo", "viviente" y "racional" en el lenguaje forman el compuesto "cuerpo-viviente-racional" o sea "hombre"<sup>72</sup>.

En la constitución del concepto hobbesiano de ciencia esta manera de calcular nombres sumando o sustrayendo otros nombres desempeña un papel esencial, tanto para

la *ciencia natural como para la social*. Apunta aquí, dentro del ejemplo, lo que será la teoría de Leviathan sobre el paso del tiempo de guerra al de paz. Podría Hobbes continuar su descripción del objeto "hombre" al cual va agregándole nombres o apelativos, diciendo "Y si lo veo en situación de miedo, sintiéndose amenazado y sometido a la ley de la garra y el colmillo, diré que es un hombre viviendo por fuera de la condición de paz. Pero si lo veo dedicado a disfrutar de los bienes de la convivencia, el progreso y los beneficios que otorgan las artes y las ciencias, diré que está en tiempo de paz y no de guerra". Y para que no se crea que se trata de una situación de subdesarrollo antropológico, una etapa de la historia de la naturaleza humana, por la que pasa cada sociedad, como el individuo, la niñez o la infancia, propia al desarrollo biológico, orgánico, de cada sociedad como su etapa neolítica, o el animismo y el politeísmo, sino de algo *alternante* como lo es en el cuerpo individual la salud y la enfermedad, donde unas pasiones adquieren la supremacía sin que nadie las controle<sup>72</sup> nos advierte expresamente: "Por consiguiente la noción de *tiempo debe ser tomada en cuenta* en la naturaleza de la guerra; como lo es en la *naturaleza del clima*. Porque así como la naturaleza del mal clima no consiste en un aguacero o dos, sino en la tendencia a que ello ocurra durante varios días juntos, también la naturaleza de la guerra no consiste en el acto mismo de pelear sino en la disposición para hacerlo" y concluye, "todo otro tiempo es, entonces, de paz"<sup>73</sup>.

Evidentemente, dentro de una visión científica de la experiencia el tiempo de guerra se nos presenta como un *efecto al cual es necesario hallarle una causa*. Paz y guerra son modificaciones, atributos de algo, como calor y frío, o lluvioso y seco lo son del clima, o lento y rápido del movimiento. Debe entonces, tenerse en cuenta al hablar, tener presente qué clase de nombres pueden predicarse de otros nombres, evitando caer en un discurso absurdo. "Ya que las mismas cosas al poder ser consideradas respecto a diversos accidentes, sus nombres se conforman y diferencian reflejando esa diversidad... una cosa siendo materia o cuerpo puede ser, pues todos son nombres de materia o cuerpo, llamada *viviente, sensible, racional, caliente o fría, en reposo*. Lo cual todo es aplicable a cuerpo o materia. Segundo, se puede considerar una cosa por tener una cualidad o accidente que consideramos está en ella así: *ser movida, tener tal extensión, estar caliente*; pero si luego fabricamos un nombre para tal accidente y para viviente calculamos con vida, y para movida, movimiento y para estar caliente, calor, para tener longitud, extensión, y similares, todos esos nombres siendo accidentes o cualidades por las

cuales una materia o un cuerpo se distingue de otro. Estos son nombres abstractos; extraídos (no de la materia en sí) sino de nuestra manera de calcularla. Tercero, calculamos con las propiedades de nuestro propio cuerpo y cuando algo es visto, no calculamos la cosa misma sino el ser vista, el color, la idea de la cosa en la imaginación; y cuando escuchamos algo no calculamos lo escuchado sino el ser oído, o el sonido en sí lo cual es nuestra imaginación o concepto de ello a través del oído: pero esos son, en verdad, nombres de imágenes. Cuarto, y finalmente, calculamos dando nombres a lo que ya son nombres y a discursos. Así: general, universal, particular, equívoco, son nombres de vocablos. Y afirmación, interrogación, imperativo, narración, silogismo,... son nombres de discursos". De todo esto concluimos que puede haber discursos absurdos o carentes de significado, por unir nombres dentro de una sintaxis equivocada. Si se estudia a fondo esta doctrina expuesta en detalle y con abundancia de ejemplos en el Capítulo IV, se entiende plenamente su importancia para *evitar error y confusión* originados en no saber *raciocinar* correctamente con el lenguaje. De estas consideraciones se deriva que hablar del hombre en "*estado de naturaleza*" constituye *discurso absurdo*. En efecto, el nombre *estado de naturaleza*, no puede ser algo que cambia, sino que cualquier cambio es un atributo de *hombre*, sea la paz o la guerra. *Ambos son accidentes* del estado de naturaleza. Por lo tanto son diferencias de *comportamiento* de una misma cosa, llamada *hombre*. De ahí que en Leviathan se adopte el nombre *mera naturaleza*, mere nature, para designar algo deficitario, un comportamiento que puede ser modificado cuando *quien actúa es el hombre total*. Mera naturaleza es algo parcial, a lo cual le hace falta algo, más no algo ajeno al hombre sino algo que le pertenece dentro del cálculo; algo que lo completa, forma parte de su ser de hombre. De esta manera la situación de guerra lo que significa es una situación particular por deficitaria, que se modifica sumándole, no restándole algo. Más no algo que proviene de un estrato más original, esencial o profundo, por ejemplo, de que es un simple ser mecánico. No es *retrocediendo* a la física o a la geometría donde se revela su naturaleza total, sino avanzada al lenguaje que le da saber y control de su medio ambiente, las dioti. Como cuando se dice que la gracia de Dios, corona la naturaleza, pero aún en este uso, no es algo opuesto sino añadido<sup>74</sup>. Conclusión: tanto situación de guerra como estado de paz pertenecen a la naturaleza del hombre. Como seco o lluvioso pertenecen al clima, siendo estados alternos de un mismo nombre *clima*. Así, el análisis de Leviathan lo que indica es que si la conducta humana está guiada por unas pasiones, excluyendo a otras, tendremos el comportamiento de un ser humano

incompleto. Tanto la guerra como la paz son *posibilidades* de una misma y única naturaleza, y la oposición entre las dos no tiene que ver con el hombre creación de Dios, sino con haber excluido el hombre, por causas que Hobbes analiza, su racionalidad. La mera naturaleza es un estado en que predominan, en el hombre, las pasiones contrarias a la racionalidad, a la afirmación de la vida en tanto que "rey de la creación".

En esta situación también, para entender el todo y las partes, debe procederse *holísticamente, por el método analítico*, para luego, sintéticamente concluir que la sociabilidad, la paz y sus beneficios, son *posibilidades de una misma naturaleza* creada por Dios. Pero la cual puede, a causa del discurso absurdo, llevar a la *supresión temporal* de la sociabilidad. Por esta razón Hobbes *rectifica* su uso de estado de naturaleza en de Cive, no solamente explicando el proceso de *transición temporal* de la paz a la guerra sino introduciendo un *nuevo discurso*, a saber *tiempo de guerra y tiempo de paz*. Cambio que corresponde al texto y al contexto de la doctrina hobbesiana expuesta en Leviathan. La posibilidad de ser artifice, de demostrar a Leviathan, es parte integral, *un acto delegado, no algo ajeno* al hombre creación de Dios. Si nuestra interpretación de por qué *desaparece* de Leviathan la expresión tan sugestiva para teorizar sobre Hobbes, *estado de naturaleza*, es correcta, esperamos haber demostrado su coherencia con el sistema total; entonces quedan pocas dudas sobre la necesidad de reinterpretar esta célebre obra. La base de tal reinterpretación está en el concepto de demostración como fuente de un saber apodíctico tanto en el *cálculo* llamado geometría como en el llamado sociedad civil o Leviathan.

## 2. Causas del tiempo de guerra

En la frase inmediatamente anterior a aquella en donde se habla de tiempo de guerra y tiempo de paz, se precisa cuáles son las pasiones que llevan a la lucha de todos contra todos. Se nos da una explicación de cuál es la *situación deficitaria* en materia de *causas* que permite el tiempo de guerra. Luego de establecer que en la naturaleza del hombre existen tres causas principales que provocan peleas: 1. rivalidad por alcanzar algo; 2. desconfianza frente a otros y 3. ambición de fama. Afirma "por lo tanto es evidente que durante el tiempo en que los hombres viven sin una autoridad común que les inspire respeto están en aquella condición que se llama guerra. La cual es una guerra de cada uno contra los demás"<sup>75</sup>. Empleando una célebre expresión de Montesquieu, sobre el equilibrio de los poderes, donde "la naturaleza de las cosas es tal

que sólo el poder detiene el poder" (imagen, en el fondo, salida de la ciencia de la mecánica) podemos decir que *para Hobbes sólo la pasión es capaz de controlar la pasión*. O sea que *la razón es tan sólo un método de cálculo* frente a los movimientos que se originan en las pasiones. La razón, no es ni movimiento ni una fuerza, como le divierte pensar a la antropología racionalista. Dando como resultado, en este mundo nuestro etnocentrista, que la razón de *validez universal* son las costumbres propias y las irracionales *las de los otros*. Manera bastante extendida, aún en círculos con educación crítica, de apreciar las cosas, en los países democráticos e industriales. No les caería mal una dosis de humanismo y realismo *hobbesiano*.

Empero, para demostrar a Leviathan, o sea generar un cálculo (método sintético) cuyo resultado es la presencia de una autoridad que *inspira miedo a todos*, con lo cual se pone fin al tiempo de guerra, es indispensable detectar en la naturaleza humana principios que conduzcan, por un movimiento inmanente al hombre, a ese resultado. Es necesario saber qué poder *intrínseco* al hombre o a los poderes conque su mente está provista entra a jugar el *papel de causa* para pasar del tiempo de guerra o de mera naturaleza al de paz. Se requiere, además, saber cómo se genera, a través de las calidades o *poderes del artista* aquel cambio que lo convierte en ciudadano. Por eso: "en vista de que para conocer las propiedades de una sociedad es necesario conocer *previamente* las inclinaciones, sentimientos, y costumbres de los humanos, la ciencia de la sociedad usualmente se divide en dos partes. La que trata de las *inclinaciones y costumbres* se llama ética; y la que estudia sus deberes cívicos política, o simplemente ciencia social"<sup>76</sup>.

### 3. Cálculo y adecuatio

Hemos dicho que Hobbes *no acepta el realismo y su adecuación de objeto y nombre como teoría de la verdad*. El centro de la teoría es el cálculo. Hobbes procede a calcular con nombres sus propias secuencias mentales. Y el cálculo garantiza la demostración. La verdad consiste en ir afinando el cálculo a fin de revelar la consecuencia dentro de la cual cada fenómeno aparece. ¿Cómo es posible el experimento dentro de este proceso? A través del hecho que el sistema de cálculo se independiza, adquiere autonomía; él desarrolla sistemas de cálculo y de manera propia; como álgebra y geometría, sin constantes empíricas. Luego se pregunta a un objeto O\*; eres tú parte del proceso de consecuencia P\* que llevo en mi mente? La verdad resulta si O\* es calculable dentro de P\*. Quedan así separados, pero integrados los dos

elementos fundamentales del idioma: el sintáctico, o sea el cálculo; que viene de la mente al operar con signos; y el semántico que proviene de los sentidos. La demostración saviliana lo que logra es mostrar cómo el elemento cálculo se convierte en el fundamento de la ciencia; pero siempre y cuando contenga nombres que son signo y no puramente seña.

Un objeto O\* con el cual se experimenta consiste en preguntarse dentro de qué cálculo, en qué lugar puede figurar. Y el problema general viz, Newton, está en descubrir qué cálculo permite integrar unos objetos de origen semántico, las observaciones astronómicas, como nombre general dentro del cual es cobijado O\*.

### Epílogo: introspección y Leviathan como cálculo

Habiendo logrado reducir los procesos mentales a sus dos componentes fundamentales, sintaxis o cálculo, y semántica o contenido, el problema de adquirir conocimiento queda reducido a *organizar y combinar estos dos elementos* de manera diversa. Sobre todo en la secuencia como van apareciendo. Si primero viene el cálculo K\*, la consecuencia es que sólo se admitirán constantes empíricas que constituyen *well-formed-fórmulas*, o sea expresiones que cobran sentido cognoscitivo dentro de K\*. Quedando excluidas las expresiones lingüísticas de otra textura. Pero es claro que se requiere una meta-lengua del significado.

Vista el habla en su papel de combinar los dos elementos, la cuestión es cómo *incluir su totalidad*. Hobbes, Aristóteles y Frege empiezan por la pragmática. Y *desde ahí van analizando*, frente a hechos pragmáticos, la existencia de ciertas ciencias. En el caso de Leviathan el proceso está claro en la introducción: hacer de Leviathan un hombre significa usarlo como un sistema de cálculo para relaciones de consecuencias. *Sobre la base de una analogía básica con los datos de la conciencia individual: vivir y sobrevivir*. Por eso Leviathan no es un simple artefacto sino un hombre producido por un artífice, creado. De ahí el programa: "para describir la naturaleza de este hombre artificial, debo considerar:

Primero, su materia, tanto como su artífice: ambos son el ser humano.

Segundo, cómo y por qué acuerdo o pacto está hecho; cuáles son los derechos y poder justo o autoridad del soberano; y qué es lo que lo conserva y qué lo que lo disuelve.

Tercero; como es una sociedad cristiana y, finalmente, cuál es el reino de las tinieblas.

Propuesto tal programa es claro que Leviathan se convierte en un cálculo de acción para lograr ciertos fines. O sea que su ser de hombre artificial, es su sintaxis: el paso siguiente es: y ¿cuáles son las *constantes no lógicas*? De ahí el primer punto: la realidad del hombre. Y ¿cómo se descubre esa realidad? Tan sólo a través de un análisis de lo que es el hombre, o sea las pasiones del hombre. Y ¿cómo se llega a penetrar *esa realidad para así darle nombre y procesarla en el cálculo Leviathan*? Por la introspección: Nosce te ipsum, Read thyself “aquel -el que busca dentro de sí mismo- debe, por consiguiente, leer cuáles son los pensamientos y pasiones de los demás hombres, en iguales circunstancias. Digo, la similitud de pasiones, las cuales son iguales en todos los hombres,... y no la similitud del objeto de la pasión, o sea las cosas deseadas, temidas, anheladas, etc.; pues la constitución de los individuos es variable...” De ahí se concluye la condición y cualidad que debe poseer el soberano, o sea, que debemos considerar no solamente el ORIGEN de Ley y el Propósito con el cual es generado sino la Manera, los Medios con los que puede y debe cumplir con la función para la cual fue creado: “Aquel que debe gobernar a toda una nación debe leer en el mismo no éste o aquel hombre particular sino la Humanidad (Mankind) aunque sea más difícil que aprender un idioma o una ciencia”. ¿Cómo se combina, *qué relación operativa, de praxis, dada la diferencia de contenido, tiene esto con el cálculo utilizado en la Aritmética, la lógica, la ciencia legal*? En responder a esto se pone a prueba toda la sustancia humanística de la experiencia vivida y la larga y honda reflexión.

Sin embargo, cuando uno haya ordenado su lectura el “nosce te ipsum”- de manera inteligente, *la tarea que le queda a cualquier otro será únicamente considerar si dentro de sí mismo no encuentra lo mismo*. “Y concluye, con la advertencia “Esta enseñanza no admite ningún otro tipo de demostración”. O sea que debe observarse *lo que Dios ha creado, en el hombre en sus variedades y contradicciones, en su razón social inmanente, y no lo que el hombre crea él mismo*. Sin duda, este pensamiento final tiene sabor pascaliano en que casi ratifica el célebre” qui cherche l’ange, trouve la bete”.

Desde el punto de vista de método filosófico, se revela en Hobbes un profundo humanismo y la exigencia de una visión imparcial y sin “wish-full thinking” de la naturaleza humana; de los resortes, raíces y metas de su comportamiento. De ninguna manera dentro de los términos materialistas o extremos de un mecanicismo individualista, como modelo final “explicativo”. El que este capítulo esté seguido del libro sobre la religión,

indica claramente que para Hobbes (si como fe personal o no, carece de importancia, al morir recibió los sacramentos) la dimensión religiosa, vista por él en su expresión cristiana, es parte integral del nosce te ipsum. Por lo tanto, en cuanto a contenido antropológico de la conciencia de homo-historicus; lo de forma es otro problema; sería bastante difícil convertir a Hobbes en adalid de una concepción laica y puramente progresistas y consumerista del ser humano. Las necesidades de consumo son integrales y variadas. Esto, claro está, cuando el hombre asume la realidad y responsabilidad integral de su naturaleza: Lev II Chap. 26, 4 “*La ley de la Naturaleza y la ley positiva se contienen mutuamente y son de igual extensión (of equal extent). Porque las leyes de la naturaleza referidas a equidad, justicia, gratitud, y otras virtudes morales que dependen de éstas, en la condición de mera naturaleza como lo he dicho al final del capítulo 15, no son propiamente leyes sino cualidades que inclinan al hombre a la paz y a la obediencia*. Y continúa; cuando la sociedad queda establecida, entonces y no antes, se convierten en leyes, convirtiéndose en ese momento, pero no antes, en leyes de la sociedad; y por lo tanto leyes civiles puesto que es el poder soberano el que obliga a los hombres a obedecerlas”. Se desprende de este enfoque sobre “nosce te ipsum” que Hobbes recoge el sentido común tradicional de lo que es el zoon politikon, como resultado de un análisis de la razón científica, es decir, del significado de nombres universales. Pero que de ninguna manera su sistema tiene como meta subvertir el orden, los conceptos y los valores tradicionales sino, por el contrario, apoyarlos por medio de una demostración de su validez. No para sustituirlos por unos originados en la razón, opuestos a ellos, sino para demostrar que éstos son los más razonables de todos. Las consecuencias políticas de esta demostración han debido irritar a los revolucionarios, no a los tradicionalistas que lo condenaron. Todo lo cual demuestra los peligros de intentar entender a Hobbes de manera parcial, a través del texto, pero ignorando el contexto; o sea lo que da al texto su lugar y sentido dentro de un método científico.

### Notas\*

1. De Homine, cap. 2, 1.

\* [Las citas de De Corpore, dan, primero la sección, luego el capítulo y en tercer lugar el párrafo. Así, III, 4, 6, significa; sección tercera del capítulo cuarto, párrafo sexto, edición Molesworth. Las de Kant, se refieren a la II ed. de la KdV, y constan de una B... seguida de un numeral romano o arábigo: R. Schmidt, Phil. Bibliothek. Para citas de Prolegomena, se indica con #... el párrafo correspondiente].

2. Lev. 14. Para evitar esa situación en la Geometría, los hombres empiezan "poniéndose de acuerdo sobre el significado de las palabras; acuerdo sobre significados que se llama establecer Definiciones. Las que luego se colocan al comienzo de las calculaciones". O sea que en geometría se llevan cuentas o cálculos como en una partida de ajedrez, una vez que se ha aprendido a jugar. En nuestros días el simul apropiado sería al hacer una llamada internacional por teléfono equivocando el indicativo del país: nos contesta alguien que no conocemos en un idioma que no entendemos.
3. La misma posición con relación a la verdad de los juicios adopta Spinoza en el "De Intellectus Emendatione": "En cuanto a la forma de la verdad, no hay duda de que un pensamiento verdadero se distingue de uno falso no por referencias externas sino primordialmente por las intrínsecas". Este principio lo ilustra enseñada Spinoza con la forma como una esfera es generada por la rotación de un semicírculo sobre su punto medio, "Aunque sea verdad que nunca jamás en la naturaleza una esfera haya surgido de esta manera".
4. De Corpore I, 6.5.
5. Lev. I.4.
6. Además de la edición alemana original, existen diversas traducciones de este tratado al inglés.
7. De Corpore, Epístola Dedicatoria.
8. "Hobbes: The Problem of Interpretation", en Reinhart Kosellek u. Roman Schnur. "Hobbes Forschungen", Duncker & Humblot, Berlín.
9. "For the induction which proceeds by simple enumeration is childish; its conclusions are precarious and exposed to peril from a contradictory instance..." Novum Organum cv. Más sobre este tema del falseamiento del pensamiento de Bacon en cuanto al valor de la inducción "enumerativa" en: Mario Laserna, Wiener Jahrbuch für Philosophie, Bd. XXI, 1989.
10. La posición de su propio idealismo crítico frente al absoluto de Berkeley la fija Kant en el Apéndice a Prolegomena donde se enfrenta a la recesión que de la Crítica de la Razón Pura hace el Göttingischen gelchrten Anzeigen del 12 de enero de 1782. En su respuesta dice Kant, entre otras muchas cosas: "La tesis de todo auténtico idealista desde los eleatas hasta el obispo Berkeley es: "Todo conocimiento adquirido al través de los sentidos o de la experiencia es mera apariencia: tan sólo en las ideas del entendimiento y de la razón puros se encuentra verdad". "...esto es exactamente, continúa Kant, lo contrario al principio determinante de todo mi idealismo el cual afirma "Todo conocimiento de las cosas a partir del entendimiento puro o de la razón pura es mera apariencia. La verdad la encontramos tan sólo en la experiencia". Afirmación que requiere precisar que debe entenderse por "experiencia" y por "cosas", o sea una redefinición de la noción de verdad. A este respecto véase: M. Laserna. "Kantian epistemology: a copernican or a thalesian revolution?" en, Philosophia Naturalis, Band 24, Heft 2, 1987.
11. Véase a este respecto la presentación de este problema en el Kant pre-crítico hecha en: Juan Arana Cañedo-Argüelles "Ciencia y metafísica en el Kant Pre-crítico (1746-1764). Universidad de Sevilla 1982., especialmente Capítulo Cuarto, C.
12. Las fichas del ajedrez son tan sólo ayudas psicológicas para facilitar el significado o valor de Cálculo de cada jugada o fórmula que se va desarrollando. De ahí que los computadores puedan ser excelentes ajedrecistas, sin que nadie les atribuya capacidad perceptiva.
13. Evidentemente eso es lo que hizo Newton con sus Leyes de la Gravitación Universal; primero las inventó como símbolos en un cálculo. Luego les dio referencia empírica refiriéndolas a los movimientos de los planetas (0\*). Finalmente comprobó (Ex\*) que nuestro sistema solar es un caso particular de sus leyes, está subsumido bajo ellas.
14. Leviathan, I Cap. 4.
15. A la filosofía de Hobbes, la cual con un punto de partida y medios diferentes pero persiguiendo los mismos objetivos del sistema de la Crítica de la Razón Pura. -demostrar la validez apodictica de los juicios matemáticos y de la física galileana-, debe aplicarse el principio de que Kant, Bxxxviii impone para entender la filosofía de la razón pura "...una construcción con partes, en donde todo es un órgano, el todo está en función de cada parte y cada parte en función de cada una de las demás de suerte que cualquier defecto, por pequeño que sea, un error, o una omisión de alguna manera se manifiesta en el proceso de su utilización" O sea que el sistema funciona y es entendible como una unidad holística. No se deja captar por partes sino en su totalidad. Pues en función de esta es que las partes adquieren significado inteligible.
16. Este enfoque sobre un supuesto pangeometrista con que Hobbes estaría planteando la relación entre Geometría y método científico no solamente es falso sino que, de ser adoptado como punto de partida, enruta por vía equivocada la totalidad de la interpretación de la filosofía hobbesiana en cuanto a método. El origen de tan desastroso error está, en mi opinión, no solamente en la influencia del relato de Aubrey en sus "Vidas Breves" en el cual se afirma que luego de haber leído unas páginas de Euclides en la biblioteca de un caballero amigo, Hobbes quedó enamorado del "método demostrativo de la Geometría". Cualquiera que sea el significado de "quedar enamorado", una segunda dificultad surge de lo que debe entenderse por "método demostrativo". Si por ello se entiende la organización axiomática-deductiva, la afirmación es evidentemente falsa ya que el sistema hobbesiano no se ciñe a tal formalismo. Si por "demostrar" se entiende deducción formal habría que anotar que tal método no es exclusivo de la geometría. En segundo lugar, lo que es aún más importante para el sistema demostrativo empleado por Hobbes haría falta precisar en qué consiste éste, precisión que constituye el propósito del presente estudio.
17. Por otra parte, yo no conozco ninguna alusión de Hobbes en que diga que va a aplicar el método deductivo de la geometría a la experiencia política.
18. La pretensión de que todos se han equivocado, tirios y troyanos, "partidarios" y "opositores" del filósofo de Malmesbury, precisamente en aquello en que TODOS están de acuerdo, encierra una antinomia casi tan gorda o mayor que la del cretense que afirmaba que todos los cretenses siempre dicen mentiras. En mi favor, sin embargo, está el hecho de la diversidad creciente de interpretaciones a que está permanentemente expuesta la ciencia hobbesiana de la social. Con la cual ocurre lo que Kant afirma ser la característica de la Metafísica tradicional, en la cual presenciamos un combate permanente entre los diversos sistemas de suerte que el terreno ganado un día se pierde al siguiente y, por consiguiente, puede uno llegar a la firma conclusión que "tal estudio está lejos de haberse adentrado por el camino de una ciencia no pasando de ser una simple búsqueda sin orientación..."
19. Debe tenerse presente que Galileo descubre las "Dos Nuevas Ciencias sobre la Mecánica y el Movimiento Local" de su célebre "Discursos y Demostraciones Matemáticas" de 1638 examinando la

- manera como se trabaja empíricamente en los astilleros de Venecia.
20. Lev. Cap. 3.
  21. De ahí la dificultad en proveer un ejemplo de causalidad necesaria y no de mera asociación, que experimenta Kant con "El aire es elástico" y otros similares, en Prolegomena # 19. La fragmentación de la unidad sintáctica de la ciencia ocurrida en el siglo XVII, tan sólo viene a restaurarse a través de la generalización que del concepto de función hace Frege en su filosofía de la lógica.
  22. BXI-XII.
  23. BVII.
  24. Sin embargo, la aplicación y consecuencias que extrae cada cual del mismo principio, para efectos de su propia obra son diferentes: Kant para fundamentar la Metafísica; Hobbes, la Ciencia de la Sociedad Civil, más habiendo pasado por la filosofía de la naturaleza como lo hemos expuesto en esta obra, Capítulo Primero. Lo significativo es que el concepto está ya expresado claramente en Francis Bacon en varios pasajes esenciales del *Novum Organum*.
  25. El mismo relato de Aubrey continúa diciendo que Mr. Hobbes se quejaba del hecho de que "el álgebra (aunque de gran utilidad) fuese muy admirada y puesta en práctica, tanto que impedía observar y considerar la naturaleza y el poder cognoscitivo de las líneas...". La preferencia de Hobbes por las líneas frente al álgebra se origina en que las líneas tienen referencia empírica mientras que los símbolos algebraicos, en sí mismos, carecen de ella. O sea que no demuestran... lo cual no impide que constituyan un sistema lógico-deductivo. Así, el contexto del enamoramiento descrito dentro del texto mismo condena la interpretación formal deductiva del vocablo "demostración".
  26. Quizás sorprenda a algunos, que la noción saviliana de demostración tiene notables afinidades con la siguiente observación de Aristóteles: "Tampoco es verdad lo que afirman ciertas personas cuando dicen que los geómetras basan sus argumentos sobre una falsedad. Es claro, dicen, que no debe utilizarse nada falso. Sin embargo el geómetra afirma una falsedad cuando dice que una línea que no mide un pie, en efecto mide un pie; o que una línea que él traza y no es recta, la declara ser una recta. Empero, un geómetra no basa su argumentación en aquello que tiene frente a sí, puesto que tales cosas no valen por lo que son sino por el significado que él les atribuye". *Análisis Posteriora*, I.10.
  27. La prioridad de la formulación saviliana de demostración no obedece a una decisión de quien esto escribe. En el Prefacio a la traducción al inglés de *De Corpore*, Vol. I, Edición Molesworth, el traductor advierte "Las Seis Lecciones a los profesores Savilian de Oxford",... fueron escritas por el mismo señor Hobbes y han sido agregadas a este libro, ya que son una defensa del mismo".
  28. *De Corpore*, I. 1.2.
  29. *Ibidem*, I, 1.9.
  30. *Ibidem*, I. 6.1
  31. Véase Lev. Cap. IX.
  32. *Ibidem* I.6.6
  33. Esta observación busca no solamente revelar al lector la causa (en cuanto a método y contenido) de las dificultades de inteligibilidad del texto, sino también prevenir contra TODO intento de entender la filosofía crítica de manera fragmentada. O sea aceptando como válido un aspecto y rechazando otro. La validez (o aceptabilidad) del sistema depende de haber captado su carácter holístico. Esta caveat, hecha ya en Prolegomena: "Allein reine Vernunft ist eine so abgesonderte, in ihr selbst so durchgängig verknüpfte Sphäre, dass man keinen Teil derselben antasten kann, ohne alle übrigen zu berühren,..." (Vorrede) la repite Kant en el Prefacio B TRES veces: B XXIII, B XXXVII, B XLIV. Igual, o quizás aún mayor caveat rige para Hobbes ya que su punto de partida, la geometría, está dada como una totalidad epistemológica. Aunque en cuanto a contenido, para fines de exposición, sea necesario presentarla euclideanamente organizada en Postulados, Axiomas, Definiciones y Teoremas. En el fondo, el principio holístico es el mismo de la definición implícita empleado por Hilbert en 1899, con tanto éxito, para sus *Grundlagen der Geometrie*. Estando, la moderna *Gestalt Psychologie*, basada en que ciertos procesos perceptivos exigen ser estudiados como hechos holísticos.
  34. Con relación a la idea de parte, en el capítulo sobre método, dice Hobbes: "Ahora bien, por partes, no entiendo yo aquí, partes de la cosa en sí misma, sino partes de su naturaleza; así como por partes del hombre no entiendo yo su cabeza, sus hombros, sus brazos etc, sino su figura, cantidad, movimiento, capacidad sensorial, razón, y similares. Accidentes los cuales al sumarse o integrados, constituyen la naturaleza total del hombre, pero no el hombre en sí. "De Corpore" I. 6.2.
  35. Este fue el método, practicado en la Escuela de Padua y aprendido allí por Harvey que lo llevó al descubrimiento de la circulación de la sangre con el corazón actuando de medio propulsor.
  36. Kant en su "Historia general de la Naturaleza y Teoría del Cielo" previene, partiendo del cálculo newtoniano, que es pensable hacer predicciones empíricas sobre la existencia de planetas aún no observados. Véase, Arana. Cap. 1, No. 15.
  37. En cuanto a la noción de experimento, que para Kant es un descubrimiento tardío (la primera vez que utiliza el vocablo separándolo específicamente de la experiencia es en B XII, refiriéndose a Galileo y Torricelli). No habiéndose propuesto desde el comienzo la explicación del experimento, concentrando la teoría en tal objetivo, se fue enredando en conceptos y problemas de orden adjetivo. O sea que Kant al no tener como meta el experimento, no pudo, en la elaboración de su filosofía, aplicar el método holístico. Hobbes no quedó expuesto a tales divagaciones pues desde el comienzo aceptó tanto el experimento como su esencial participación en el método geométrico como meta de su filosofía.
  38. Prefacio B, XIII.
  39. Dentro del propósito hobbesiano mismo de hacer de la política una ciencia, es discutible si tal meta fue realizada en *De Cive*. Y ello por dos razones: Primero, porque contrario al propósito inicial de Hobbes de elaborar primero los principios generales de la filosofía (*De Corpore*), luego los de una psicología y antropología (las pasiones) para finalmente, culminar en el ciudadano, diversas circunstancias lo llevaron a publicar primero *De Cive*. Segundo, porque si *De Cive*, publicada en 1642, fuese la forma final y terminada de la ciencia de lo político cabría preguntarse: ¿y para qué, en 1651, *Leviathan* con sus seis capítulos introductorios cuyo tema es una teoría de la ciencia? (La cual está expuesta más en detalle en *De Corpore*, 1653). Por consiguiente puede afirmarse que *De Cive*, aunque lo presupone, no se desarrolla a través de un método científico riguroso, y fue ciencia tan sólo en la intención. No así *Leviathan*, como demostraremos en este estudio.

40. Francis Bacon investigó a fondo esta cuestión en Su *Novum Organum*, y al plantearnos este problema no debemos olvidar que Hobbes fue su secretario... Aquél que según Aubrey, "entendía mejor aquellos pensamientos que Su Excelencia dictaba durante sus paseos".
41. Prolegomena # 36, donde Kant define naturaleza en sentido material como la totalidad de las imágenes, las cuales originalmente se constituyen a través de la percepción para luego alcanzar validez demostrativa al relacionarlas funcionalmente con un cálculo. Naturaleza en sentido formal, es "la totalidad de las reglas (cálculos) ordenables al tren de imágenes de la mente de manera que estas últimas (las imágenes) se presenten como funcionalmente relacionadas".
42. Asunto sistemáticamente tratado por Cassirer en "Substanz und Funktionsbegriff" o en el tomo final de su "El Problema del Conocimiento".
43. Nótese en Prefacio B XII - XIII la manera como Kant evalúa el método experimental de Galileo y Toricelli. Igualmente, en BXXII el análisis de como las trayectorias de los planetas luego de constituirse en evento para cálculo copernicano constituyen un evento que queda subsumido por el cálculo "mecánica newtoniana".
44. Prolegomena No. 36
45. Cartas de Alberto Einstein a Mario Laserna de sept. 22, 1953 y enero 8, 1955.
46. Al descubrir la demostración como principio general del conocimiento que conduce a la certeza, Kant encuentra en ella el principio de unidad del saber científico, tanto para la metafísica como para la geometría y la física. -Siendo la geometría una física de la forma de los objetos, sin consideración de la variable tiempo.- "En el intento de cambiar la manera usual de pensar la metafísica adoptando, conforme al ejemplo revolucionario de la geometría y la física, la nueva manera de pensar de estas, consiste el propósito de esta Crítica de la razón pura especulativa". BXXII. El contexto de esta afirmación no deja dudas de que "la nueva manera de pensar" se refiere a la demostración como método, (expuesto en BX-XIII) ¿Podría decir esto Kant si demostración equivaliese a "deducción lógica"?
47. *Ibidem*, I 1.9.
48. *Ibidem*, I 6.1.
49. *Ibidem*, I. 6.6.
50. *Ibidem*, I. 6.5.
51. *Ibidem*, I. 6.5.
52. *Ibidem*, I. 6.6.
53. *Ibidem*, I. 6.6.
54. Verdad y falsedad se atribuyen a expresiones lingüísticas, no de cosas. Donde no hay lenguaje, no hay lugar para verdad o falsedad. "Lev. I cap. 4. Esta es la misma tesis fregeana de que "verdad" no puede jamás ser un predicado pues su esencia está en estar por fuera de cualquier juicio ya que corresponde a una actitud del sujeto que emite el juicio.
55. De Corpore I.6.6.
56. La teoría de la tabula rasa lleva al behaviourismo de Watson o a la psicología de Skinner. Su rechazo por parte del Hobbes lo colocaría, dentro de los actuales debates sobre las bases del comportamiento, del lado de los etólogos Lorenz, Tinberge, Tiger... y de los teóricos de la ciencia política pertenecientes a tal corriente.
57. *Ibid.* I.6.7.
58. A este respecto viene a la memoria el libro de Jacques Maritain "Siete Ensayos sobre el Espíritu en su condición Carnal".
59. "Por consiguiente, la posibilidad de la geometría como un conocimiento sintético a priori es un resultado de nuestra explicación -el carácter subjetivo del tiempo y el espacio-. Y todo otra manera de explicación que no conlleve esto -la posibilidad de la geometría- aunque tenga parecido, se distingue de la nuestra de manera segura por esta propiedad" B41. Esta afirmación hecha en 1787 (Segunda Edición de la *KdRV*) es, sin embargo, anterior a la luz que cayó sobre Thales y Galileo del Prefacio B XI. La cual, en opinión del presente autor, modifica sustancialmente el sentido epistemológico del idealismo trascendental anterior a esa fecha. O sea que sobre Emmanuel Kant también cayó, en abril de 1787, una luz repentina.
60. Lev. Introducción.
61. Lev. I.4
62. Lev. Cap. IX. La frase continúa: "Este es el conocimiento requerido de un filósofo, o sea, de quien pretende raciocinar. El registro del conocimiento de hechos se llama Historia. Del cual existen dos tipos: Historia Natural, que abarca la historia de tales hechos o efectos de la naturaleza que no dependen de la voluntad del hombre. De este tipo son la historia de los metales, plantas y animales, regiones y similares. (¿visión evolucionista?, cabe preguntarnos). La otra es la Historia Civil; la cual expone de las acciones voluntarias de los hombres organizados en comunidades". Y termina diciendo: "La ciencia está registrada en aquellos libros que contienen la demostración de las consecuencias de una afirmación a otra. Generalmente se les llama libros de filosofía; de lo que existe abundante variedad de acuerdo a la diversidad del contenido. "Lo significativo es que todo aquello que merezca el nombre de ciencia se origina en la DEMOSTRACION.
63. Lev. I.3
64. Uno de los mayores perjuicios del "estado de guerra" (conflicto interno, no con otra nación), Leviathan, Cap. 13 es que "no hay industria,... ni cultivo de la tierra, ni navegación, ni disfrute de aquellos bienes que pueden ser importados por mar,..., en fin, ningún beneficio salido de la tecnología, los artes y el comercio. En este fin utilitario, de "comodidad y bienestar" del conocimiento coincide Hobbes totalmente con Bacon.
65. Lev. Cap. IV.
66. Lev. Cap. V.
67. Dentro de la física tal como se enseña hoy en día, aún la elemental, E\* no es un objeto de la vida diaria, sino un objeto que a su vez ya es construcción de un sistema de cálculo  $K_n$ . De suerte que T\* a su vez, puede convertirse en objeto experimental para una teoría expuesta en un cálculo más general  $K_{n+1}$ . Galileo captó este principio de la teoría con toda claridad no obstante que, por ejemplo, en las Dos Ciencias Nuevas, sus demostraciones en los astilleros de Venecia estaban referidas a problemas concretos de la construcción de barcos, a los cuales ya se les había dado solución en la praxis tradicional. La clarividencia galileana consistió en descubrir la demostración (construcción geometría ideal) que no sola-

mente daría soporte a la técnica sin teoría, sino que lograba generalizar el problema, o sea, presentarlo como relaciones de consecuencia entre una causa y en efecto necesario, no de simple asociación humeana.

68. Cap. VI., I. 6. 17.

69. La similitud de esta tesis hobbesiana con la kantiana que termina en la separación entre el mundo del fenómeno y del noumenon es evidente. Lo que Hobbes llama la imagen es para Kant apariencia y no cosa-en-si. Ding an sich. La similitud entre las dos filosofías no es asunto de mera coincidencia sino resultado de un enfoque similar de lo que es ciencia. No olvidemos que para Kant el problema fundamental de la razón pura es ¿Cómo son posibles los juicios sintéticos a priori de las matemáticas? Hobbes plantea el mismo problema... pero adopta una actitud de mayor simplicidad y astucia que Kant: Desmenuzar la geometría hasta que le entrega su gran secreto: el método de la demostración saviliana. A partir de esto, visible en la geometría, la lucha de Hobbes que lo lleva al triunfo de Leviathan consiste en aplicar el método de la demostración a todo aquello que se deja exponer en un cálculo. Más aún, lo que es calculable es de por sí demostrable.

70. De Corpore, I. 6. 5.

70. Ibid.

71. Desde un punto de vista moderno lo que Hobbes está diciendo es que las operaciones cognitivas que la mente expresa a través

del lenguaje, como significar objetos, tienen una estructura de lo que comúnmente en álgebra se llama Grupo. Los elementos de un mismo grupo se suman o restan y el resultado es siempre otro elemento perteneciente al universo de significación dentro del cual la operación está definida.

8. Ibid. I. 1.3.

72. Ibid. "Las pasiones que inclinan al hombre a la paz, son, el temor a la muerte el deseo de aquellas cosas que son necesarias para un vivir confortable; y la esperanza de lograrlas mediante la laboriosidad.

73. Leviathan I, Cp. 13.

74. La ruptura, dentro del ser del hombre, en el lenguaje de la Cive oponiendo la naturaleza a la sociabilidad tiene resonancias de teología luterana y puritana donde la brecha entre naturaleza y gracia es absoluta.

75. Ibid.

76. Lev. I, 1.9 Debe tenerse en cuenta que para Hobbes, filosofía y ciencia son términos equivalentes en cuanto que buscan estudiar los efectos a partir de las causas; o hallar las causas posibles de efectos observados. La manera cómo esta relación de causa y efecto queda referida a la capacidad de dar nombres a los fenómenos y desarrollar un cálculo de nombres, constituye, como lo hemos probado, en el Capítulo segundo de este estudio, el principio fundamental del método hobbesiano.

# **LA SISTEMÁTICA EN COLOMBIA PARA EL SIGLO XXI**

por

**Enrique Forero\***

## **Resumen**

**Forero, E.:** La Sistemática en Colombia para el Siglo XXI. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23(86):** 129-137, 1999. ISSN 0370-3908.

Se presenta la propuesta de una estrategia para el estudio sistemático de la megadiversidad de Colombia en los próximos veinticinco años. Se analizan tanto el contexto global como local de la propuesta, se presentan algunas cifras que ilustran la riqueza biológica del país y se discuten el estado actual y las perspectivas futuras de la investigación en Sistemática en Colombia.

**Palabras claves:** Sistemática, Colombia, Biodiversidad, Estrategia, Siglo XXI.

## **Abstract**

A proposal for the systematic study of the megadiversity of Colombia in the next twenty five years is presented. The global and the local contexts of the proposal are analyzed; figures to illustrate the biological richness of the country are presented, and the present and future of research in Systematics in Colombia are discussed.

**Key words:** Systematics, Colombia, Biodiversity, Strategy, 21<sup>st</sup>. Century.

## **Introducción**

Normalmente las personas que asisten a las sesiones de la Academia constituyen grupos relativamente heterogéneos, y en la sesión de hoy no me cabe duda de que los presentes pertenecen a una variada gama de áreas de interés y de profesiones. Por esa razón haré mis comentarios en la forma mas clara posible y a veces trataré

de definir términos que pueden ser un poco extraños para algunos. Por ello doy disculpas a los conocedores del tema de la biodiversidad aquí presentes.

La primera definición es del término Sistemática que constituye la esencia de esta presentación. La Sistemática ha sido definida en diversas formas, y como el propósito de esta charla no es polemizar sobre el asunto, voy a usar una definición con la cual me siento bastante cómodo:

La **Sistemática** es la ciencia dedicada al estudio comparativo de las clases de organismos - tanto vivos como

\* Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 5997, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

fósiles - que existen o han existido sobre la tierra. La Sistemática se encarga de descubrir, organizar e interpretar la diversidad biológica, a través de dos tareas fundamentales:

La **Taxonomía**, que es la ciencia que trata del descubrimiento, la descripción y la clasificación científica formal - que incluye la asignación de nombres científicos - de especies o grupos de especies en un sistema jerárquico que refleja el conocimiento existente sobre sus relaciones filogenéticas.

El **Análisis Filogenético**, que es el descubrimiento de las relaciones evolutivas entre especies, es decir de patrones de historia evolutiva y ancestros comunes entre especies y grupos de especies.

Según esta definición, quienes nos ocupamos de la Sistemática descubrimos e inventariamos especies, hacemos comparaciones entre especies y proponemos posibles historias filogenéticas, usamos la filogenia y las clasificaciones que se derivan de ella para integrar la biología básica y la aplicada, y proveemos datos fundamentales necesarios para el uso sostenible de la diversidad biológica.

Nuestra misión, pues, cubre varios aspectos y tiene diversos énfasis. Para descubrir la diversidad biológica hacemos colecciones e inventarios y describimos los grupos taxonómicos que descubrimos. Posteriormente establecemos las posibles relaciones filogenéticas entre esos grupos, proponemos clasificaciones jerárquicas y publicamos monografías y revisiones taxonómicas que resumen el conocimiento sobre esos grupos. Finalmente, y en épocas recientes, hemos comenzado a reunir toda esa información en bases de datos y - poco a poco - vamos integrando esas bases de datos en redes nacionales e internacionales de información.

Del conocimiento que genera nuestro trabajo se benefician la industria farmacéutica, la investigación médica aplicada, la biotecnología, la agricultura, la pesca, las industrias forestales, las entidades encargadas de la conservación de la naturaleza, el ecoturismo, las ciencias biológicas básicas, las entidades encargadas de administrar justicia, las entidades encargadas de controlar el tráfico internacional de especies, y muchos otros usuarios.

Sin embargo, **la tragedia del inventario biológico en los trópicos consiste en que la destrucción y transformación de los ambientes naturales avanza más rápido que los esfuerzos que se hacen por estudiarlos** (Prance, 1977). La deforestación y la pérdida de la diversidad biológica dependen de muchos factores asociados con los pro-

blemas económicos y sociales que soportan los países en desarrollo. El crecimiento de la población, la presión sobre los recursos naturales disponibles, la ganadería, el desarrollo industrial, la construcción de carreteras, caminos y otras obras de infraestructura, la introducción de especies foráneas e invasoras, la sobre-explotación, las concesiones madereras, la mala administración, la deficiente planeación y la falta de estudios serios de impacto ambiental, han contribuido en forma considerable a este proceso de destrucción. En la "Política Nacional de Biodiversidad" (1997), se reconocen como causas de la deforestación en Colombia las siguientes:

Expansión de la frontera agropecuaria y colonización (73%); producción maderera (12%); consumo de leña (11%); incendios forestales (2%), y cultivos ilícitos (2%).

Las consideraciones anteriores no obstan para que exista una tendencia a suponer que ya se conoce todo lo que hay que conocer sobre los organismos, y que hay suficientes sistemáticos para adelantar investigaciones básicas y aplicadas relacionadas con el conocimiento, conservación y uso sostenible de la diversidad biológica del mundo. Nada más alejado de la realidad. **El número adecuado de sistemáticos (o taxónomos) necesario para inventariar, describir, clasificar, monitorear y administrar la biodiversidad simplemente no existe y la urgencia de realizar esos trabajos no puede ser mas obvia.**

Esta presentación tiene por objeto colocar en sus contextos global y local tanto el problema como la propuesta de preparar una "Estrategia en Sistemática para el Siglo XXI".

### Justificación

El estudio de la diversidad biológica de los países tropicales debe recibir la más alta prioridad. El nivel de conocimiento de los organismos debe incrementarse considerablemente si queremos hacer un uso apropiado de los recursos naturales disponibles. Desde el punto de vista científico es importante estudiar y comprender los procesos de evolución biológica, las causas de la variación y las relaciones que existen entre los grupos de organismos y entre estos y su medio ambiente. La investigación básica y la investigación aplicada deben ocupar un lugar muy importante en nuestra sociedad moderna. Una no puede existir sin la otra.

### Contexto global

Los esfuerzos que se hacen para estudiar la biodiversidad en todos sus aspectos no se realizan en un vacío. Al contrario, forman parte de un movimiento global para

enfrentar los retos del tercer milenio. Existen una serie de elementos que constituyen el marco global dentro del cual deben encararse estas actividades, tanto hoy como en el futuro. Algunos de esos elementos se mencionan a continuación:

### *La Conferencia de Río*

En junio de 1992 se congregaron en Río de Janeiro 178 países durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, también conocida como "Cumbre de la Tierra". Durante la conferencia 156 países firmaron la Convención sobre Diversidad Biológica. Se adoptaron también otros documentos tales como la Agenda 21 y la Convención Marco sobre cambios climáticos, entre otros.

### *La Convención sobre Diversidad Biológica*

Tiene tres objetivos principales:

1. La conservación de la diversidad biológica
2. El uso sostenible de sus componentes (plantas, animales y otros organismos) y
3. La distribución equitativa y justa de los beneficios que resulten del uso de los recursos genéticos.

Las decisiones para implementar estos objetivos se toman a través de las Conferencias de las Partes y de una serie de reuniones intermedias de diversos grupos técnicos y científicos.

### *Systematics Agenda 2000*

En 1994 apareció la publicación titulada "Systematics Agenda 2000" que se presenta como una iniciativa global para descubrir, describir y clasificar las especies del mundo. Se describe como un esfuerzo internacional para conservar la biodiversidad, buscar nuevos recursos biológicos y avanzar en nuestro conocimiento de las especies del mundo.

La idea fundamental es buscar respuestas a cuatro preguntas principales:

1. ¿Cuáles son las especies que crecen sobre la tierra?
2. ¿Cuáles son sus propiedades?
3. ¿Dónde crecen?
4. ¿Cómo están relacionadas unas con otras?

### *Species 2000*

Los nombres de los organismos son la base para las comunicaciones sobre biodiversidad, y como tales, pro-

veen acceso a todo el conocimiento ya acumulado sobre la vida en la tierra. Sin embargo, y aunque su importancia es obvia, no existe un índice para los cerca de 1 millón 750 mil animales, plantas, hongos y microorganismos descritos hasta hoy. La falta de un índice que esté ampliamente disponible es un problema fundamental para los países que desean cumplir sus compromisos bajo la Convención sobre Diversidad Biológica (Bisby & Smith, 1996).

El objetivo a corto plazo de este proyecto denominado "Species 2000" es el de reunir a todos los individuos y organizaciones que poseen, administran o son responsables legales de bases de datos taxonómicos en una Federación a través de la cual la información que ellos guardan se pueda colocar a la disposición de una gran cantidad de persona y entidades interesadas, por medio de la red Internet y en CD-ROM.

Los objetivos a mediano y largo plazo incluyen la preparación de listas e índices de todas las especies de organismos conocidos para la ciencia, y la posterior distribución de las listas y los datos asociados a ellas a través de un servicio científico neutral.

### *International Organization for Plant Information*

La Organización Internacional para la Información sobre las Plantas (IOPI) tiene como objetivo fundamental producir y colocar a disposición de la comunidad científica, gobiernos, instituciones y público, un inventario moderno, unificado y computarizado de las especies vegetales del mundo, de su distribución y de sus atributos. Los esfuerzos de IOPI se realizan en estrecha colaboración con *Species 2000*, y se están adelantando en dos frentes:

- a) La lista de plantas del mundo, que incluirá información básica sobre nombres, distribución geográfica, referencias bibliográficas, y algunos otros datos. Ya existe un prototipo en World Wide Web.
- b) El "Species Plantarum Project" que busca publicar una flora del mundo con información detallada sobre atributos de las plantas, distribución, sinonimia, nombres comunes, etc.

### **Contexto local**

#### *Ciencia y Tecnología para un Desarrollo Sostenible y Equitativo.*

El documento preparado en 1995 por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnolo-

gía, COLCIENCIAS, titulado "Ciencia y Tecnología para un Desarrollo Sostenible y Equitativo. Implementación de la Política Nacional de Ciencia y Tecnología 1994-1998" en su capítulo 10, Biodiversidad, Recursos Naturales y Hábitat, identificó como una de las áreas de investigación de importancia estratégica para el país la orientada a desarrollar y fortalecer la capacidad científica nacional para el conocimiento de los ecosistemas que albergan la biodiversidad terrestre y marina, las especies que los integran y los usos sostenibles de esa biodiversidad.

El documento señala que se requiere una estrategia que incluya, como parte fundamental, la realización de investigación orientada a caracterizar, evaluar, utilizar y conservar la riqueza genética disponible en el país.

El numeral 2 de ese documento se refiere al fortalecimiento de centros, institutos, grupos y redes especializados en temas de la diversidad biológica, e incluye la formación de recursos humanos como uno de los elementos fundamentales de este componente.

A continuación sugiere que se adelante un proceso de consulta sobre estos temas con los investigadores colombianos para que preparen diagnósticos del estado actual del conocimiento y las necesidades de investigación sobre la diversidad biológica del país, y para que se formule un Programa Nacional de Inventarios y Colecciones de Biodiversidad.

Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt"

El Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" identificó cuatro grandes áreas de trabajo: Inventarios, Biología de la Conservación, Uso y Valoración, y Política y Legislación.

#### ***Política Nacional de Biodiversidad***

Más recientemente, la Política Nacional de Biodiversidad incluyó como sus componentes principales el conocimiento, la conservación y la utilización de los recursos naturales del país.

#### ***Estrategia en Sistemática para el Siglo XXI***

Con base en los anteriores elementos, y con el fin de iniciar el diagnóstico de la situación actual pero, principalmente, de identificar y definir las contribuciones futuras que la Sistemática - tanto vegetal como animal - puede hacer al desarrollo de la ciencia, la tecnología, la conservación y el desarrollo sostenible en Colombia, se ha venido adelantando desde febrero de 1996 un proyec-

to denominado "La Sistemática en Colombia para el Siglo XXI. Estrategia nacional para el estudio de la megadiversidad del país en los próximos 25 años".

En este proyecto han participado 153 especialistas distribuidos en seis grupos, así:

En Plantas, 47 especialistas

En Invertebrados Terrestres, 30 especialistas

En Limnología, 27 especialistas

En Tetrápodos, 20 especialistas

En Biología Marina, 16 especialistas

En Micología, 13 especialistas

El proyecto ha sido liderado por la Asociación Colombiana de Herbarios cuyo Presidente, Fernando Sarmiento, ha realizado la coordinación general y la preparación de un informe consolidado que se presentó al Instituto "Alexander von Humboldt" en diciembre de 1996. El proyecto recibió una financiación inicial del Programa de Medio Ambiente y Hábitat de COLCIENCIAS y una posterior del Instituto Humboldt para la realización de las reuniones de grupos. Los comentarios que siguen se hacen a título personal.

#### **La diversidad biológica en Colombia**

Hasta hoy, los taxónomos hemos descrito entre 1 millón 400 mil (SA2000) y 1 millón 750 mil (Species 2000) organismos en el mundo entero. Según Systematics Agenda 2000, los cálculos sobre el número de especies aún sin descubrir ni describir fluctúa entre 10 millones y más de 180 millones!

Algunos ejemplos servirán para ilustrar la riqueza biológica de nuestro país.

En el caso de las plantas vasculares, por ejemplo, el total aproximado de especies que crecen sobre la tierra puede se calcula en 250.000. De estas, cerca de 90.000 se encuentran en América Latina. Esto quiere decir que más de la tercera parte del total para el mundo crece en solo el 15% de la superficie terrestre. México tiene más de 25.000 especies de plantas vasculares. Brasil tiene una de las floras más ricas del mundo con unas 50.000 a 55.000 especies. Colombia, Ecuador y Perú juntos pueden sumar unas 60.000 especies. Por comparación, la flora de los Estados Unidos y Canadá en conjunto apenas alcanza a las 22.000 especies. África tropical tiene unas 30.000 especies y Asia tropical y subtropical 35.000 especies (Forero, 1996).

Los cálculos que se han hecho sobre la diversidad biótica en Colombia varían considerablemente. En el caso de las plantas vasculares, se ha sugerido que puede haber hasta 50.000 especies (Schultes, 1951). Sin embargo, de acuerdo con las cifras mencionadas arriba, un número de 35.000 parece mas aproximado. **Rangel y colaboradores** (1994), después de recopilar informaciones de diversa índole, concluyen que "el grado promedio estimado de exploración botánica del territorio colombiano es de 61%", y que "el estimativo total de las especies vegetales con área de distribución en Colombia es de 45.500".

En cuanto a grandes grupos animales, los datos más recientes indican que en nuestro país se han registrado 454 especies de mamíferos, lo cual corresponde al 8,7 % del total en el mundo. Estas cifras nos colocan en el quinto lugar en el mundo, después de Brasil, México, Indonesia y Perú (**Rodríguez-M., et al., 1995; Rangel et al., en prep.**).

En aves, Colombia es considerado el país mas rico, con un total de 1752 especies, que constituyen el 18% del total para el mundo (**Rangel et al., 1994**), que ha sido calculado en 9.700 especies.

Los reptiles suman 505 especies, lo cual nos coloca en el cuarto lugar en el mundo y segundo en América después de México (717). Australia tiene 686 especies, e Indonesia 600 (**Sánchez, Castaño & Cárdenas, 1995**).

Se han registrado en el país 583 especies de anfibios, y se considera que ocupamos el primer lugar en el mundo (**Rangel et al., 1994**). De los anfibios, el grupo más conocido es el de los Anura (ranas y sapos). Los datos más recientes (**Lynch, Ruiz & Ardila, 1997**) indican que en Colombia se encuentran representadas 552 especies.

En los grupos de invertebrados, se conocen para Colombia unas 2500 especies de mariposas (Lepidoptera), de un total aproximado de 30.000 a 35.000 en el mundo, y se calcula que pueden llegar a 3000 o inclusive 3500 en el territorio nacional (**Fagua, com. pers.**).

Se tienen datos de 1089 especies de arañas (Arácnidos) sobre un total mundial de 80.000. Sin embargo, este es uno de los grupos de fauna menos estudiados en el país (**Flórez y Sánchez, 1995**).

Los himenópteros (abejas, avispas y hormigas), que pueden llegar a incluir más de 300.000 especies en el mundo, están representados en Colombia por 2000 especies, aunque se estima que el orden puede incluir en el país hasta 3500 especies, la mayoría aún por describir (**Fernández, 1995**).

Los datos presentados hasta ahora indican claramente que los niveles de conocimiento de los diversos grupos de organismos que existen en Colombia son muy desiguales. Este fenómeno se cumple en todo el mundo, e indica claramente que aún hay mucho por estudiar. Ciertamente que es necesario concentrar esfuerzos en los grupos menos conocidos para, al menos, descubrirlos y describirlos. Eso no quiere decir, sin embargo, que se abandone el estudio de los demás grupos de los cuales definitivamente hay mucho por aprender. Es fundamental evitar la duplicación de esfuerzos entre entidades asociadas de una forma u otra con el gobierno, y entre éstas y las entidades privadas que se dedican a estas actividades.

Se debe construir sobre lo que existe, sin ignorar o menospreciar el inmenso trabajo realizado hasta ahora. No hay que olvidar que en Colombia los estudios sobre biodiversidad se iniciaron hace más de 200 años. Sin embargo, ha sido durante el presente siglo que se han hecho las contribuciones más importantes a nuestro conocimiento de la rica flora y fauna del país. Esos esfuerzos no pueden pasar desapercibidos. No hay estudio sobre biodiversidad que no deba tener en cuenta la información acumulada por los científicos colombianos y por muchos colegas extranjeros que han trabajado aquí. Esa información se encuentra en colecciones científicas depositadas en diversas instituciones y en las numerosas publicaciones que se han hecho a través de todos estos años. Los datos que he incluido en esta presentación no se habrían podido recopilar de no ser por el conocimiento acumulado de nuestros científicos y por la información disponible en nuestras instituciones de investigación. Lo mismo se aplica a los datos de nivel global. Esa información ha sido producida por sistemáticos! Sin ella no se podría hablar de una Convención sobre Diversidad Biológica, ni de una Política Nacional de Biodiversidad, ni se podrían tomar decisiones sobre conservación y uso sostenible de los recursos naturales del mundo. No habría, en otras palabras, forma de comunicarnos sobre la diversidad biológica del orbe.

### **Estrategia para estudios sistemáticos hacia el Siglo XXI**

Los sistemáticos colombianos que se han reunido para diseñar una estrategia para el estudio de la megadiversidad del país en los próximos 25 años han coincidido en reafirmar la necesidad de conocer completamente, y con base en criterios científicos, la diversidad biológica del territorio nacional no solo en términos de su identidad y números de géneros y especies, sino en lo relativo a diversidad genética, diversidad de poblaciones, comunidades y ecosistemas.

La necesidad de fortalecer este conocimiento plantea a su vez la importancia de fortalecer los recursos humanos, las instituciones especializadas en sistemática y sus colecciones.

Al mismo tiempo, los participantes han reconocido que todos estos elementos de una estrategia deben ir acompañados de acercamientos pluridisciplinarios entre sistemáticos y especialistas en otras áreas como la ecología y la informática, de colaboraciones interinstitucionales entre universidades, entidades del Sistema Nacional Ambiental, zoológicos, jardines botánicos, etc. Hay también una clara conciencia de la necesidad de sistematizar y de popularizar la información disponible sobre los recursos biológicos del país.

Los elementos fundamentales de la estrategia son los siguientes:

- Fortalecer la comunidad científica
  - ⇒ Estrategia financiera
  - ⇒ Capacitación
  - ⇒ Fortalecimiento de colecciones y centros de investigación
- Fomentar la Investigación en Sistemática
- Crear conciencia sobre la importancia de la Sistemática como ciencia y promover la integración del trabajo sistemático a la problemática nacional
- Propender por el desarrollo de un marco legal apropiado que facilite las colecciones para investigación en Sistemática
- Propender por el desarrollo de relaciones con las comunidades locales que respondan a la actual dinámica de procesos socio-culturales en el país.

Cada uno de los grupos de especialistas identificó una serie de propósitos y prioridades específicos dentro de este marco general, que deberán ser consolidados en el documento final.

## Discusión

La investigación científica en Colombia ha progresado considerablemente. No obstante, los problemas son inmensos y las soluciones difíciles de alcanzar. Solo se mencionan a continuación algunas de las dificultades, para luego concentrar la discusión en las posibles alternativas para el futuro.

## *Actividad y producción científica*

Un problema de grandes proporciones para el desarrollo científico de los países del tercer mundo es el acceso desigual a la información, al conocimiento y a las comunicaciones. En nuestros países la distribución desigual de la capacidad de aprender, saber y comunicarse es una de las principales fuentes de frustración de la comunidad científica (Forero, 1994).

De acuerdo con un informe preparado por UNESCO ("World Science Report", citado por Mayor, 1994), más del 80% de la investigación científica se concentra en unos pocos países industrializados. Mientras en países como Japón o los Estados Unidos hay entre dos y cinco científicos por cada 1000 habitantes, en los países en desarrollo ese número no alcanza siquiera a un científico por cada 1000 habitantes.

Uno de los aspectos alarmantes de la situación lo constituye el número de publicaciones científicas que se producen en América Latina. De acuerdo con Soberón y colaboradores (1993), en 1973 América Latina producía solamente el 0,97% de todos los trabajos científicos publicados en el mundo. Según esos autores, en ese año aparecieron 2.700 trabajos en América Latina frente a un total de 279.570 en el mundo. En 1984, la producción científica en la región había llegado al 1,14% del total mundial (3.001 vs 263.072). La situación mejoró en cierta forma en 1986, pues la producción científica total de América Latina alcanzaba 1,8% del total en el mundo (Guimaraes, 1993). En ese año el total en América Latina fue de 9.719 trabajos mientras en el mundo el total llegó a 551.225.

Brasil, Argentina, México, Chile y Venezuela presentan en forma consistente la más alta producción científica en la región. Como ejemplo, en 1991 en el Brasil se publicaron 3.443 trabajos; en Argentina, 1.864; en México, 1.458; en Chile, 1.088, y en Venezuela 466.

## *Modelos importados de desarrollo científico*

Los modelos de desarrollo científico "standard", importados de otras partes del mundo, son un obstáculo para la erradicación del subdesarrollo científico porque están basados en criterios que no necesariamente son aplicables en todos los países del mundo.

Nuestros países deben definir sus propios modelos de desarrollo científico. Como ocurre con muchos modelos ecológicos, las ideas venidas del norte, basadas en condiciones diferentes, no necesariamente son directamente aplicables a la realidad latinoamericana. Por eso es oportuno

tuno recapacitar cuidadosamente sobre la forma en que se aceptan los modelos que vienen de fuera. Esto incluye, pero no se restringe, a los métodos de evaluación del trabajo científico y, por consiguiente, a los métodos de financiación, modelos de estudio y conservación de la biodiversidad, modelos de coordinación interinstitucional, reconocimiento de prioridades estratégicas para el país, etc.

### *Pluralismo y conocimiento local*

No hay duda de que las comunidades científicas de los países en desarrollo requieren información y tecnología de frontera. Pero ese tipo de apoyo solo funciona con la aceptación, paralelamente, del pluralismo, de una cierta medida de equidad, y de la responsabilidad que deben asumir las comunidades y cada uno de los individuos que las forman.

Por ejemplo, cualquier solución a los problemas ambientales tiene que ir acompañada de la participación activa de las comunidades que se verán afectadas por esas soluciones. Las soluciones tienen que ser compatibles con las condiciones locales tanto de índole científica y técnica como social y económica.

La combinación de tecnologías modernas - como la biotecnología - con estudios sobre tecnologías tradicionales que se realizan a través de investigaciones etnobiológicas o de botánica económica, permitirá la obtención de soluciones locales al mantenimiento de la biodiversidad.

Es claro que abandonar ciertas tecnologías nuevas como la biotecnología o la informática sería absurdo. Pero es importante combinarlas con otras tecnologías bien sea tradicionales o de otros tipos. Existe, por ejemplo, un conocimiento técnico popular del cual podría extraerse considerable beneficio social. Tenemos que aprender a experimentar, comparar, transferir y, de ser posible, generalizar experiencias exitosas.

### *Asignación y transferencia de fondos*

Las agencias financiadoras, tanto nacionales como internacionales, tienen que aceptar su responsabilidad de apoyar el estudio, conservación y desarrollo sustentable de los recursos naturales. Esto incluye como elementos muy importantes el fortalecimiento de centros de investigación y el entrenamiento de nuevas generaciones de científicos.

La investigación en Sistemática, los inventarios, las colecciones de germoplasma, las investigaciones etnobiológicas y, en general, las investigaciones de campo de-

ben recibir apoyo porque solo así se podrá obtener la información necesaria para tomar decisiones inteligentes en relación con la protección, el manejo y el uso de los recursos vegetales del país.

Así mismo, los jardines botánicos, los zoológicos y las instituciones regionales requieren de apoyo para adelantar su importante contribución científica y educativa a diversos niveles. La desproporción que se encuentra, por ejemplo, entre el número de jardines botánicos que existen en América Latina y los que existen en los Estados Unidos y Europa es conocida por todos. Lo mismo pasa con las colecciones científicas.

Muchos proyectos de investigación no son financiados porque, según las entidades financiadoras y, por lo que parece, también según algunos colegas científicos, "ya hay suficiente información" y lo que se necesita es "analizar" esa información. Casi que la palabra "investigación" se ha convertido en una mala palabra, y es un "pecado" hacer investigación básica.

Federico Mayor, Director General de UNESCO, se refiere a la importancia de la investigación básica diciendo que "**no puede haber ciencia aplicada si no hay ciencia para aplicar**" (Mayor, 1994). Todos los países necesitan personal capacitado en técnicas de investigación y esto solo se puede lograr a través de una política de apoyo a las ciencias básicas.

### *Mirando hacia el Siglo XXI*

Los problemas son globales, y las soluciones deben ser, por consiguiente, globales. La comunidad científica y académica tiene la obligación de contribuir a los esfuerzos globales para estudiar, proteger y utilizar racionalmente la biodiversidad. Al mismo tiempo, la comunidad internacional (científicos, entidades financiadoras, gobiernos, organizaciones internacionales de diversos tipos, entidades conservacionistas, etc.) tiene la obligación de aceptar, reconocer y apoyar las iniciativas y prioridades locales derivadas del conocimiento directo de la biodiversidad, en lugar de continuar imponiendo modelos foráneos a los que ya he hecho referencia.

El mundo moderno presenta una serie de retos que no pueden ser ignorados. La comunidad científica y académica tiene que tomar una nueva actitud y volverse más agresiva. Es necesario aumentar la conciencia de que la misión de la ciencia no es solo descubrir los hechos sino también la forma de aplicar esos nuevos conocimientos.

Es necesario el fortalecimiento de la comunidad científica y una mejor organización colectiva para enfrentar

los retos del fin del Siglo XX y el comienzo del Siglo XXI. Se deben organizar grupos de trabajo para discutir muchos de los problemas que afectan a la comunidad en general, desde cómo actuar ante el gobierno, las organizaciones no gubernamentales, las entidades financiadoras, etc., hasta cómo participar más activamente en los procesos de toma de decisiones tanto en el ámbito científico como de distribución de recursos, transferencia de tecnología, modernización, las decisiones de la Conferencia de Río, el establecimiento de prioridades de investigación, conservación, desarrollo sostenible, etc

Como individuos, los sistemáticos y en general los científicos y académicos deben preguntarse qué están haciendo en bien de la comunidad no solo científica sino de la comunidad en general, de los ciudadanos, y cada uno asumir la responsabilidad que le corresponde. De lo contrario, el impacto social y la importancia de los resultados de nuestras investigaciones (a los que hacía referencia al comienzo) serán ignorados. Más grave aún es el hecho de que la visibilidad pública de la Sistemática, pero también de la ecología y la biodiversidad, queda en manos de "científicos instantáneos" como los llama **di Castri** (1994).

Los medios de comunicación, las fundaciones privadas y muchas organizaciones internacionales y nacionales prefieren en muchos casos tratar con esas personas que responden a sus deseos de soluciones instantáneas. El proceso educativo en el área del medio ambiente en muchos países ha creado una generación de jóvenes que entiende poco de la necesidad de hacer ciencia con rigor, aunque tome un poco de tiempo, y que pretende "salvar el mundo en dos semanas".

Los científicos colombianos y de otros países en desarrollo pueden y deben trabajar en colaboración con científicos de otros países para agilizar el proceso de estudio de la biodiversidad y para producir la información requerida por el público y por las entidades que toman decisiones. La colaboración permite utilizar mejor los recursos disponibles y limitar el peligro de duplicación de esfuerzos. El total es mucho mayor que cada una de las partes.

Es necesario implementar bases de datos a varios niveles, y establecer redes de información computarizada. El uso de la red Internet ha acertado, afortunadamente para nosotros, las distancias en tiempo entre los países desarrollados y los países en desarrollo. Debemos hacer esfuerzos para capacitarnos en estos temas y para utilizar estas nuevas facilidades al máximo. Se debe impulsar la idea de publicar nuestras revistas electrónicamente.

Se debe hacer un gran esfuerzo para integrar a los científicos colombianos con las iniciativas internacionales en bases de datos, índices, etc.

Así mismo, es indispensable compartir información y conocimientos con colegas de otros países de la región. Debemos establecer vínculos con aquellos países vecinos que muestran mayores niveles de desarrollo relativo y colaborar con ellos estrechamente.

Aunque ya se han hecho algunos experimentos (en botánica, la Red Latinoamericana de Botánica es un buen ejemplo, pero también la Red Latinoamericana de Ciencias Biológicas y otras), todavía se requiere incrementar aún más ese intercambio. Por eso, la asistencia a reuniones científicas dentro y fuera del país y de la región precisa de más apoyo financiero. La participación de nuestros científicos en reuniones de carácter nacional, regional o mundial es un verdadero "vía crucis". Resultado: atraso, falta de información y aislamiento.

Los científicos jóvenes deben dedicar su talento, inspiración y entusiasmo a la producción de contribuciones originales a la ciencia y la tecnología, pero al mismo tiempo deben participar más en el análisis y solución de los serios problemas sobre conservación y uso de los recursos naturales que enfrenta la región.

Finalmente, debemos esforzarnos por llegar al público con información útil, clara, y científicamente correcta. El interés del público en las riquezas naturales para recreación y placer está en aumento. Los visitantes y los residentes de cualquier lugar deben comprender su medio ambiente y lo que éste les ofrece, a fin de que lo aprecien, lo respeten, lo utilicen racionalmente, y lo preserven. Los taxónomos debemos proveer listas de plantas y animales y guías escritas sobre las áreas naturales. Debemos participar en educación a diversos niveles, y debemos estar dispuestos a interactuar con gobernantes y con quienes toman decisiones a fin de usar nuestros conocimientos en forma práctica en programas de conservación y manejo.

## Conclusiones

El camino que se debe transitar de aquí en adelante no es fácil. El mundo ha cambiado y continúa cambiando y no podemos pretender que nada está ocurriendo a nuestro alrededor. Las condiciones de Colombia hoy no son las mismas de hace cinco, diez o veinte años. La ciencia avanza a grandes pasos. Tenemos que aceptar el cambio y adaptarnos a él. La comunidad de Sistemáticos ha entendido estos retos y está dispuesta a afrontarlos. A

través de una estrategia cuidadosamente definida, como la que se está preparando, los sistemáticos debemos establecer nuestras propias prioridades y exigir que se nos escuche. Tendremos que hacer sacrificios. Eso es inevitable. Tendremos que vencer muchos obstáculos, algunos de los cuales ya han sido mencionados en este texto.

La iniciativa de nuestra comunidad para organizarse y responder a esos retos la coloca en una situación favorable para trabajar con los entes gubernamentales y no gubernamentales en el logro de objetivos comunes que beneficien al país y, finalmente, al mundo.

No me cabe duda de que los científicos colombianos que han dedicado su vida a la Sistemática, lo mismo que los que apenas comienzan, tienen la capacidad de hacer contribuciones muy importantes a la sociedad.

La preparación de nuevos taxónomos y de nuevas monografías y el desarrollo de nuevas metodologías serán elementos fundamentales de la estrategia. La obtención de más información y de nuevos conocimientos sobre nuestra diversidad biológica, el diseño de nuevas formas de afrontar el trabajo taxonómico y el entrenamiento de nuevos sistemáticos, el acceso rápido y oportuno a la información generada por el trabajo taxonómico utilizando la tecnología de los computadores, y una mayor comunicación con el público sobre la belleza, la importancia y la riqueza de la diversidad biológica del país, son objetivos que se ajustan perfectamente a nuestra estrategia.

## Bibliografía

- Bisby, F. & P. Smith.** 1996. Species 2000: indexing the world's known species. Project Plan Version 3. Species 2000 Secretariat, Southampton, U.K.
- COLCIENCIAS.** 1995. Ciencia y Tecnología para un Desarrollo Sostenible y Equitativo. Implementación de la Política Nacional de Ciencia y Tecnología 1994-1998.
- Departamento Nacional de Planeación.** 1997. Política Nacional de Biodiversidad. Colombia. 40pp. (en colaboración con el Ministerio del Medio Ambiente y el Instituto Alexander von Humboldt).
- Di Castri, F.** 1994. Matching Rigor with Openness in Biology. Editorial. *Biology International* **29**: 1-2.

- Fernández, F.** 1995. La Diversidad de los Hymenoptera en Colombia. En: Rangel - Ch., O. (ed.), Colombia. Diversidad Biótica I: 373-442.
- Flórez - D., E. & H. Sánchez - C.** 1995. La Diversidad de los Arácnidos en Colombia. En: Rangel - Ch., O. (ed.), Colombia. Diversidad Biótica I: 327-372.
- Forero, E.** 1994. El futuro de la botánica en América Latina. Acuerdos y realidades. *Ciencia (Facultad de Ciencias, UNAM)* **34**: 35-41.
- Forero, E.** 1996. Estrategias para la investigación botánica en América Latina en el Siglo XXI. Conferencias, VI Congreso Latinoamericano de Botánica, pp. 1-15. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Guimaraes, J. A.** 1993. Opportunities and common goals for research in the Americas: 65-72. En: Stann, E. J. (ed.), Science and Technology in the Americas: Perspectives on Pan American Collaboration. American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.
- Lynch, J. D., P. M. Ruiz - C. & C. Ardila - R.** 1997. Biogeographic Patterns of Colombian Frogs and Toads. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* **21** (80): 237-248.
- Mayor, F.** 1994. Opening address of the UNESCO Conference on Science and Technology in Africa, Nairobi: 8pp.
- Prance, G. T.** 1977. Floristic inventory of the tropics: Where do we stand? *Ann. Missouri Bot. Gard.* **64**: 659-684.
- Rangel-Ch., O. et al.** 1994. Estudio de la Diversidad Biótica en Colombia. Memorias, I Congreso Nacional sobre Biodiversidad, pp. 25-32. Universidad del Valle, Biopacífico, Ministerio del Medio Ambiente. Cali.
- Rodríguez - M., J. V. et al.** 1995. Mamíferos colombianos: sus nombres comunes e indígenas. Occasional Papers in Conservation Biology. Occ. Paper No. 3. Conservation International.
- Sánchez - C., H., O. Castaño - M. & G. Cárdenas - A.** 1995. Diversidad de los Reptiles en Colombia. En: Rangel - Ch., O. (ed.), Colombia. Diversidad Biótica I: 277-325.
- Schultes, R. E.** 1951. La riqueza de la Flora Colombiana. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* **8**: 230-242.
- Soberón, G., J. Martuscelli & C. Valdés.** 1993. Directions in research and cooperation for development: 33-49. En: Stann, E. J. (ed.), Science and Technology in the Americas: Perspectives on Pan American Collaboration. American Association for the Advancement of Science. Washington, D.C.
- Systematics Agenda 2000.** 1994. Systematics Agenda 2000: Charting the Biosphere. New York: Society of Systematic Biologists, American Society of Plant Taxonomists, Willi Hennig Society, Association of Systematics Collections.

# UNA NUEVA ESPECIE DE *ATELOPUS* A.M.C.DUMERIL & BIBRON 1841 (AMPHIBIA: ANURA: BUFONIDAE) DE LA CORDILLERA ORIENTAL COLOMBIANA

por

María Cristina Ardila-Robayo\*

## Resumen

**Ardila-R. M. C.:** Una nueva especie de *Atelopus* A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Anura: Bufonidae) de la Cordillera Oriental colombiana. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **23** (86): 139-142, 1999. ISSN 0370-3908.

Se describe y nombra una nueva especie de *Atelopus* del grupo *longirostris* (*sensu* Peters 1973) o *ignescens* (*sensu* Lynch, 1993:86) de los bosques húmedos orientales del Parque Nacional Natural Cordillera Los Picachos en el Municipio de San Vicente del Caguán, Departamento del Caquetá.

**Palabras clave.** Amphibia, Anura, Bufonidae, *Atelopus*, nueva especie, taxonomía, Parque Nacional Natural Cordillera Los Picachos, Caquetá, Colombia.

## Abstract

A new species of the genus *Atelopus* referred to the *longirostris* group (*sensu* Peters 1973) or *ignescens* group (*sensu* Lynch, 1993:86) is named and described from the eastern humid forest of the Parque Nacional Natural Cordillera los Picachos, Caquetá.

**Key words.** Amphibia, Anura, Bufonidae, *Atelopus*, new species, taxonomy, Parque Nacional Natural Cordillera los Picachos, Caquetá, Colombia.

## Introducción

Al continuar con los estudios taxonómicos de las colecciones de anfibios del Instituto de Ciencias Natu-

rales (ICN) y como uno de los resultados de trabajo de campo en un sector del Parque Nacional Natural Cordillera de los Picachos en la cuenca baja del Río Pato, vertiente oriental de la Cordillera Oriental, se encontró que tres ejemplares, aunque hembras juveniles, corresponden a una nueva especie del género *Atelopus* (Anura, Bufonidae).

\* Profesor Asociado, Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia Bogotá. Apartado aéreo 7495. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. E-mail: mcardila@ciencias.ciencias.unal.edu.co.

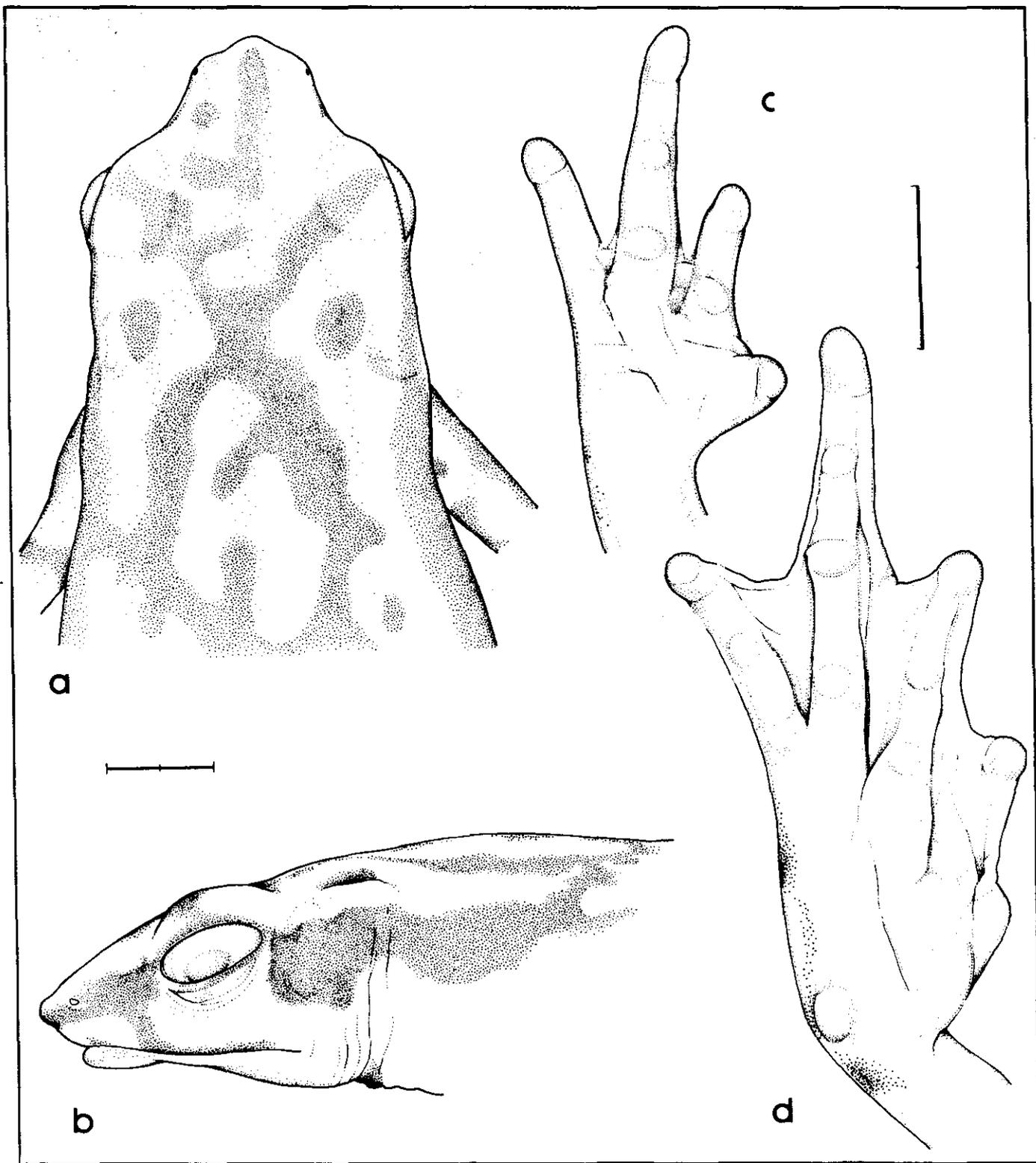


Figura 2. Aspectos a) dorsal. b) lateral, de la cabeza. c) ventral de la mano y d) del pie de *Atelopus petruizii* sp.nov., parátipo IAVH 6519. LRU= 21.2mm. (Escala = 2mm.)

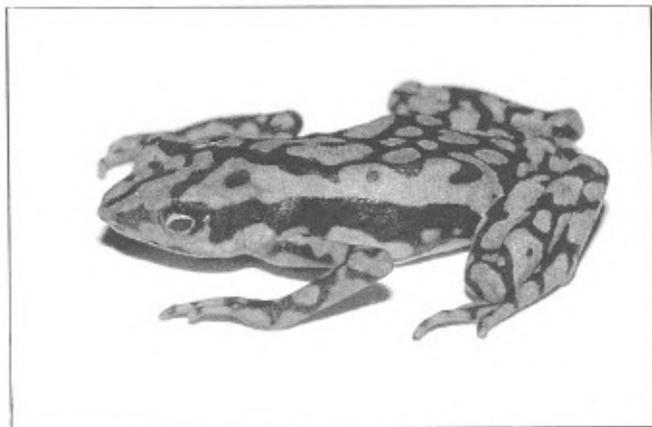


Figura 1. *Atelopus petriruizii* sp.nov., parátipo IAVH 6519, LRU= 21.2mm. Foto M.C.Ardila-R.

*Atelopus petriruizii* sp.nov. (Figs. 1-2)

**Holotipo.** Hembra juvenil, número ICN 34269 (número de campo MM 468), coleccionada por *Marcela Morales S.* el 9 de octubre de 1993, depositada en la colección batracológica del Instituto de Ciencias Naturales-Museo de Historia Natural, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

**Localidad típica.** COLOMBIA, Departamento del Caquetá, Municipio San Vicente del Caguán, Inspección de policía Guayabal, vereda San Jorge, quebrada San Jorge, ca. 2° 50' latitud N, 74° 52' longitud W de Greenwich, 1600m.s.n.m.

**Parátipos.** Hembras juveniles: ICN 42307 (esqueleto coloreado siguiendo la técnica de Dingerkus & Uhler, 1977) e IAVH (Instituto Alexander von Humboldt) 6519, coleccionados por F. Quevedo y M.C.Ardila-R. el 18 de noviembre y 4 de diciembre de 1997 en el Departamento del Caquetá, Municipio San Vicente del Caguán, Inspección de policía Guayabal, veredas Cristo Rey (Cerro La Mica) y La Esperanza, 1500-1750m.

**Etimología.** El epíteto específico hace referencia al nombre de mi maestro, amigo y compañero Pedro Miguel Ruiz Carranza, quien decidió abandonarnos el 12 de septiembre de 1998.

**Diagnos.** Una especie del género *Atelopus* del grupo *longirostris* (*sensu* Peters 1973) o *ignescens* (*sensu* Lynch, 1993:86) reconocible por la siguiente combinación de caracteres: 1) hembras juveniles cuya longitud rostro-urostilar varía entre 19.4mm y 21.2mm en 3 ejemplares; 2) mano con fórmula falangeal 2-2-3-3- y palmeadura

basal; 3) pie con fórmula falangeal 2-2-3-4-3, dedos completamente palmeados; 4) miembros posteriores relativamente largos; 5) rostro largo, redondeado, algo proyectado por delante del borde anterior de la mandíbula; 6) tímpano, anillo timpánico, *ostia pharyngea* y *columella auris* ausentes. 7) piel delgada, muy finamente granular y sobre los gránulos diminutas espículas, en la parte posterior del tronco con algunas verrugas difusas, las superficies ventrales granulares, y los flancos con verrugas grandes, separadas; 8) color de fondo dorsal *in vivo* verde obscuro con manchas vináceo obscuro a manera de diseño; flancos mitad superior vináceo e inferior amarillo; ventralmente gula y pecho amarillo con manchas vináceo, vientre amarillo verdoso, palmas y plantas anaranjado.

*Atelopus petriruizii* por sus caracteres estructurales y cromáticos se asimilaría a *A. minutulus* Ruiz-C., Hernández-C. & Ardila-R. 1988 de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental en el municipio de Acacias (Meta) pero difiere porque este último tiene la piel dorsal y ventral muy espiculada y es más granular, tiene las manos ligeramente más palmeadas, el rostro es muy puntiagudo en vista lateral y redondo dorsalmente.

**Descripción de la serie típica.** Porte delgado; longitud rostro-urostilar 19.4-21.2mm ( $\bar{x}$ =20.2mm,  $S$ =0.916,  $n$ =3), cabeza más larga que ancha, anchura cefálica equivalente al 28.8-32.0% ( $\bar{x}$ =30.9%,  $S$ =1.851,  $n$ =3) de la longitud rostro-urostilar; longitud cefálica equivalente al 32.6-35.0% ( $\bar{x}$ =33.9%,  $S$ =1.258,  $n$ =3) de la longitud rostro-urostilar. Rostro largo, subovoide entre las narinas, en vista lateral ligeramente agudo, algo proyectado por delante de la mandíbula. *Canthi rostrales* redondeados, bien definidos. Superficie dorsal de la cabeza ligeramente cóncava entre las narinas. Narinas externas algo prominentes, laterales, ovaladas, con aperturas dirigidas antero-lateralmente, situadas más cerca del extremo del rostro que del ángulo anterior de la órbita; la distancia ojo-narina equivale al 73.7-81.8% ( $\bar{x}$ =77.6%,  $S$ =4.076,  $n$ =3) del diámetro anteroposterior de la órbita, la distancia narina-rostro equivale al 42.1-50.0% ( $\bar{x}$ =45.8%,  $S$ =3.962,  $n$ =3) del diámetro orbital. Región loreal excavada, cóncava. Tímpano, anillo timpánico, *ostia pharyngea* y *columella auris* ausentes. Crestas supratimpánicas poco prominentes. Narinas internas ovaladas, pequeñas, ventralmente observables perpendicularmente. Lengua espatulada, sin escotadura, libre en su 1/3 posterior. Glándulas paratoideas muy poco evidenciables.

Brazos relativamente esbeltos, antebrazo algo robusto. Dedos manuales redondos, cortos, los extremos con yemas pronunciadas. Superficies palmares muy corrugadas con

tubérculos muy bajos, irregulares, palmar grande, redondo, algo levantado. Membrana basal interdígital manual reducida.

Miembros posteriores largos; longitud tibial equivalente al 44.3-46.6% ( $\bar{x}$ =45.2%,  $S$ =0.837,  $n$ =3) de la longitud rostro-urostilar. Cuando los muslos permanecen perpendiculares al plano sagital del cuerpo y las piernas se flejan hacia atrás los talones se sobrepone ligeramente; cuando el miembro posterior se halla adpreso hacia adelante, el talón alcanza al nivel medio de la órbita; cuando el miembro anterior se halla flexado hacia atrás y el posterior hacia adelante, codos y rodillas se contactan. Longitud femoral equivale al 44.7-46.2% ( $\bar{x}$ =45.3%,  $S$ =0.826,  $n$ =3) de la longitud rostro-urostilar. Rodillas, talones y tarso sin pliegues; tubérculo metatarsal externo redondeado, algo levantado, tubérculo metatarsal interno plano y ovalado. Superficies plantares con abundantes tubérculos bajos e irregulares. Pie de mediano tamaño, su longitud equivale al 34.9-45.9% ( $\bar{x}$ =40.6%,  $S$ =5.497,  $n$ =3) de la longitud rostro-urostilar. Palmeaduras interdígitalas algo gruesas, dedos completamente palmeados, pero en el borde externo del dedo IV se forma como un reborde amplia a partir de la mitad de la penúltima falange.

Piel delgada, cabeza y tronco medio lisos, partes lateral y posterior del tronco con algunas verrugas, miembros anteriores y posteriores con densas verrugas, más bien pequeñas, todas las verrugas y/o granulaciones tienen diminutas y finas espículas (observables al estereomicroscopio), superficies ventrales granulares.

**Coloración *In vivo*.** La serie dorsalmente tiene coloración verde oscuro con manchas a manera de diseño que se hace regular posteriormente de color café vináceo oscuro; los flancos, de extremo rostral a ingle son vináceo arriba y amarillo abajo; ventralmente la gula y el pecho son amarillos con manchas irregulares vináceo y el vientre amarillo verdoso; los muslos, palmas, plantas son anaranjados; los dedos I-II manuales, I-II-III pediales son amarillo naranja, los restantes tienen retículo vináceo oscuro sobre amarillo intenso. Iris negro con la pupila orlada de dorado grueso.

**Coloración en etanol 70%.** La coloración general de fondo se torna cremosa y el diseño es vináceo oscuro.

**Dimensiones del holótipo** (en mm). Longitud rostro-urostilar 20.0, longitud cefálica 6.8, anchura cefálica 6.4,

longitud femoral 8.95, longitud tibial 9.2, longitud del pie 8.2, diámetro anteroposterior de la órbita 2.2, distancia ojo-narina 1.7, distancia ojo-extremo rostral 2.7, distancia entre narinas 2.2, anchura interorbital 2.2, anchura párpado superior 1.8.

**Aspectos ecológicos y reproductivos.** Los especímenes fueron coleccionados durante el día, activos en el piso del bosque.

**Distribución.** Conocida de los bosques húmedos de la cuenca baja del Río Pato, Caquetá.

### Agradecimientos

A la Bióloga Marcela Morales por la colección del ejemplar tipo; al Director del Instituto Alexander von Humboldt por su invitación a participar (como "especialista") en el trabajo de campo que desarrolló el GEMA (Grupo de exploración y monitoreo ambiental) en un sector del P.N.N. Cordillera Los Picachos del 15 de noviembre al 5 de diciembre de 1997; al Coordinador del trabajo doctor Augusto Repizo y a los compañeros del mismo; al señor Fabio Quevedo, auxiliar de campo por su incondicional apoyo y colaboración en el campo. El señor Juan Carlos Pinzón elaboró las ilustraciones.

### Bibliografía

- Cochran, D.M. & C.J. GOIN. 1970. Frogs of Colombia. U.S. National Museum Bulletin 288, xii + 655pp.
- Dingerkus, G. & L.D. Uhler. 1977. Enzyme clearing of alcian blue stained whole small vertebrates for demonstration of cartilage. Stain Technology, 52: 229-231.
- Lynch, J.D., 1993. A new harlequin frog from the Cordillera Oriental of Colombia (Anura, Bufonidae, *Atelopus*). Alytes (Inter. Jour. of Batrachology), 11 (3): 77-87.
- Löthers, S., 1996. The neotropical toad genus *Atelopus*. Checklist-Biology-Distribution - M. Vences & F. Glaw Verlags GbR, Köln, Germany, 1-143pp.
- Peters, J. A., 1973. The frogs genus *Atelopus* in Ecuador (Anura: Bufonidae). Smithsonian Contr. Zool., 45: 1-49.
- Rivero, J.A., 1963. Five new species of *Atelopus* from Colombia, with notes on other forms from Colombia and Ecuador. Car. Jour. of Sci., 3 (2-3): 103-124.
- Ruiz-C., P.M., J.I. Hernández-C. & M. C. Ardila-R., 1988. Una nueva especie de *Atelopus* A.M.C. Dumeril & Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Cordillera Oriental de Colombia. Triana (Act. Cient. Técn. INDERENA), 1: 57-69.

# RANAS PEQUEÑAS, LA GEOMETRÍA DE EVOLUCIÓN, Y LA ESPECIACIÓN EN LOS ANDES COLOMBIANOS<sup>1</sup>

por

John D. Lynch<sup>2</sup>

## Resumen

**Lynch, J. D. :** Ranas pequeñas, la geometría de evolución, y la especiación en los Andes colombianos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **23** (86): 143-159, 1999. ISSN 0370-3908.

Los cladogramas nos permiten detectar distintos modos de especiación, los cuales difieren en las distribuciones de las apomorfias y en la necesidad de cambios correlacionados con el hábitat. Utilizando la fauna colombiana, excepcionalmente rica de *Eleutherodactylus*, y las hipótesis cladísticas disponibles para 65 especies, se encuentra que la alopatria es predominante (94%). Aunque la mayoría de eventos de la especiación para estas especies de ranas no corresponden a cambios del hábitat, la frecuencia de cambios (uno en tres eventos de especiación o uno en cuatro eventos) es notable en comparación con estimaciones anteriores. Estos datos también permiten rechazar la idea popular de que la fauna de las tierras altas se ha derivado de la de las tierras bajas porque, en general, los taxones de las tierras altas están relacionados con otros taxones de las tierras altas y no con taxones de las tierras bajas. Hay un sesgo en el cual los cambios del hábitat en los estratos de baja altitud son más comunes que en los estratos altos. Este sesgo representaría al fantasma de la última glaciación o indicaría que la adaptación a climas más calientes es, en cierta forma, más fácil para las ranas del género *Eleutherodactylus* que su adaptación a climas más fríos.

**Palabras claves.** Cladística, *Eleutherodactylus*, especiación, historia geológica, vicarianza

## Abstract

Cladograms allow us to detect different modes of speciation which differ in the distributions of apomorphies and the necessity of correlated habitat changes. Using the exceptionally rich Colombian fauna of *Eleutherodactylus* and cladistic hypotheses available for 65 species, one

<sup>1</sup> Dedicado a la memoria de mi gran compañero, el fallecido Pedro Miguel Ruíz-Carranza.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. [jlynch@ciencias.ciencias.unal.edu.co](mailto:jlynch@ciencias.ciencias.unal.edu.co). Trabajo presentado con ocasión de la posesión como miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

finds that allopatry is predominant (94%). Although most events of speciation for these frogs do not correspond to habitat changes, the frequency of changes (one change-per three events or one per four) is notable relative to earlier estimates. These data also permit one to reject the popular notion that the highland faunas have been derived from lowland faunas because in general highland taxa are more closely related to other highland taxa. There is a bias in that habitat changes to lower elevational strata are more common than those to higher strata. This bias could represent the ghost of the last glaciation or may indicate that adaptation to warmer climates is somehow easier for frogs of the genus *Eleutherodactylus* than is adaptation to cooler climates.

**Key words.** Cladistics, *Eleutherodactylus*, geological history, speciation, vicariance.

## Introducción

La especiación es un concepto clave en la teoría de la evolución de Charles Darwin pero permanece siendo un tema relativamente evasivo y raro, dirigido en todos los sentidos, excepto como un proceso (pero véase **Brooks & McLennan**, 1991; **Lynch**, 1989; **Mayden**, 1992; **Wiley & Mayden**, 1985). Ya no recuerdo cuándo las ranas del género *Eleutherodactylus* y el interés por la especiación se unieron para mí, pero ninguno de los dos ha estado lejos de mis pensamientos en los últimos treinta años.

Aunque la especiación es un proceso a la espera de ser aceptado y estudiado por medio de experimentos, es también un patrón, cuyo estudio podría llevarse a cabo utilizando cladogramas y la sistemática filogenética. Este último me ha fascinado desde hace muchos años. Cada nudo en un cladograma es un evento de especiación (Fig. 1) y un ancestro común. Los organismos actuales y los cladogramas basados en ellos nos permiten confrontar los puntos débiles en nuestras teorías favoritas y exigir un reconocimiento a la filosofía, especialmente en las ciencias biológicas (**Kluge**, 1997).

Existe un modelo muy popular de la especiación (peripátrico), originalmente formulado por el gran evolucionista/ y ornitólogo, Ernest Mayr (**Mayr**, 1954), y ahora utilizado en ideas tan disímiles como la del equilibrio puntuado (**Eldredge & Gould**, 1973; **Eldredge & Cracraft**, 1980). Es una hipótesis seductora, cuyas bases no son los datos sino su racionalidad aparente (**Lynch**, 1989) pero se postula que en un evento de la especiación, uno de los linajes derivados será desplazado ecológica y geográficamente con relación al otro, mientras este último no se verá modificado como resultado de la especiación (Fig. 2). Los resultados de tal evento de especiación serían una especie monofilética y otra parafilética. Debemos aceptar que se asume, por falta de evidencia, que cada producto debe ser una especie (por la autoridad del "experto").

Como era de esperarse, este modelo se enseña como un hecho virtual en la mayoría de las universidades y como modelo de la especiación presente en la mayoría de los libros de texto, se sugeriría que está ampliamente confirmado. Sin embargo, se han aplicado metodologías cladísticas al modelo (y a los modelos paralelos), dando como resultado que el modelo peripátrico está pobremente sustentado (**Brooks & McLennan**, 1991; **Lynch**, 1989).

Se puede reconocer el modelo de Mayr (Fig. 3 a) sólo si la estasis evolutiva en realidad se presenta en uno de los linajes derivados. Aun permanece ambiguo el significado de un ambiente "marginal" y cómo se puede medir la "marginalidad", pero por el momento se puede aceptar el cambio ecológico de **Ross** (1972) como una aproximación. En términos cladísticos, Mayr sostiene que para un evento de especiación, una y sólo una de las especies hermanas presentará una autapomorfía (carácter derivado y no compartido). Esto es equivalente a la sustentación de que algo sobre la arquitectura genética de la otra especie hermana (o madre) prevenirá la adquisición de una autapomorfía. Los argumentos tradicionales (**Wiley**, 1981) invocan la inercia en poblaciones de tamaños muy grandes (**Fisher**, 1930; **Haldane**, 1957) lo cual podría superarse bajo la estructura poblacional imaginada por Sewell Wright. Si cada especie tiene la habilidad de adquirir autapomorfias (evoluciona), el modelo de Mayr fallará porque será irrealizable descubrir cual de las dos especies derivativas (Fig. 3 b) era la madre y el ancestro común será hipotético (especies "X").

La fauna de batracios de Colombia es muy impresionante, pues cuenta con casi 600 especies conocidas en la actualidad. Las familias y subfamilias de las tierras bajas de América del Sur están relativamente poco representadas en Colombia, en contraste con otros cuatro grupos de ranas (*Bufo*idae, *Centrolenidae*, *Dendrobates*idae, y la tribu *Eleutherodactylini* de la familia *Leptodactylidae*), para los cuales Colombia tiene un número significativo de especies. Cada uno de estos grupos

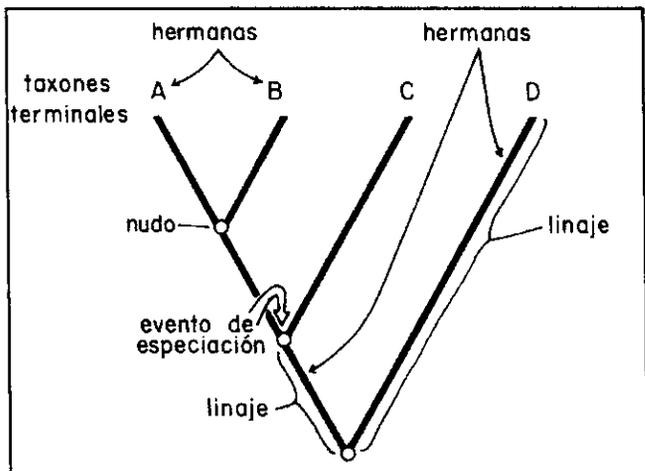


Figura 1. Un cladograma y sus componentes. Cada nudo es un ancestro común y un evento de la especiación y debería ser soportado por una sinapomorfía.

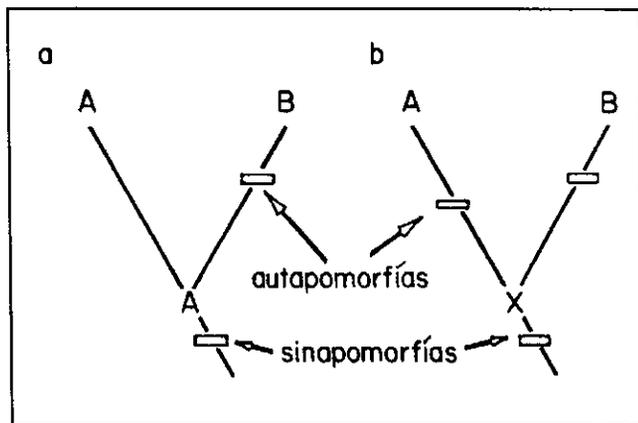


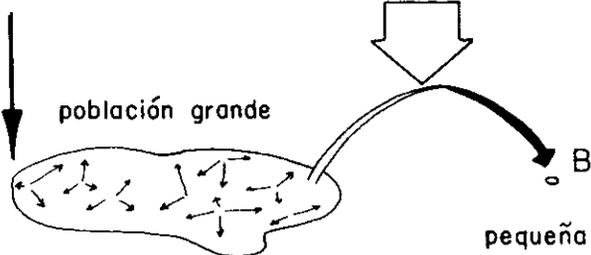
Figura 2. El modelo de especiación adelantado por Ernest Mayr. El proceso necesita un desplazamiento ecológico y geográfico (dispersión sobre una barrera). El patrón es asimétrico con respecto a la distribución de las autapomorfías.

UN MODELO DE LA ESPECIACIÓN (de E. MAYR)

la especie se distribuye hasta los límites de las condiciones marginales y no más

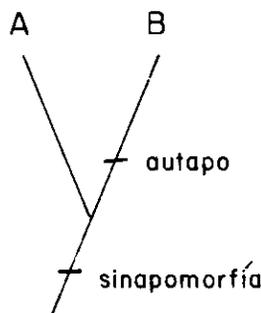
DISPERSIÓN cruzando barreras--fluja génica más selección fuerte en un "ambiente submarginal"

Patrón cladístico



Dentro la distribución se encuentra difusión

Proceso



la distribución de los caracteres es asimétrica

Figura 3. (a). La distribución de todos los caracteres para el modelo de Mayr permite la identificación de una especie actual simultáneamente como un descendiente y como el ancestro común. (b). Cuando cada linaje tiene la posibilidad de evolucionar (adquiere caracteres derivados), nunca se puede identificar el ancestro común como una especie actual.

presenta una distribución andina. Existe una segunda particularidad de la fauna de ranas de Colombia: aproximadamente 1/3 de su diversidad está comprendida por un sólo género de ranas (*Eleutherodactylus*).

El género *Eleutherodactylus* es el género más grande dentro de los vertebrados contando con más de 600 especies (Lynch & Duellman, 1997). Para los no herpetólogos, estas ranas son muy peculiares porque carecen

de una etapa larval (renacuajos) en su ciclo de vida. En lugar de esto, las hembras ponen sus huevos en sitios terrestres, usualmente en la hojarasca húmeda, y después de más o menos un mes, las miniaturas de los adultos usan un diamante (diente del huevo) para hendir la cápsula del huevo y la ranita sale. Esta biología reproductiva se ve favorecida los sitios húmedos. En áreas geográficas con una época seca prolongada (más de cuatro meses) o de pocas lluvias, no existen ranas del género *Eleutherodactylus*. Aunque se encuentran 200 especies del género en Colombia, no hay especies en la zona Caribe (exceptuando en la Sierra Nevada de Santa Marta, **Lynch & Ruiz**, 1985) ni en los Llanos Orientales. Estas ranas se distribuyen desde la parte suroccidental de los Estados Unidos de Norte América hacia el sur y al oriente sobre América Central y las Antillas hasta el norte de Argentina. Se encuentran especies en las selvas al nivel del mar y otras por encima de los 4500 metros.

La distribución de las especies es muy desigual. En cuanto a la distribución general, de éstas ranas se encuentran menos de cinco especies en un solo sitio. Este tipo de distribución separa unos focos muy ricos en especies (en Colombia occidental, en el Ecuador, La Española). Cada uno de estos focos se encuentra en una zona montañosa pero hay zonas montañosas en otros países que no poseen una diversidad de *Eleutherodactylus* correspondiente a éstos. En el occidente de Colombia, la diversidad de estas ranas es notable - 26 especies en las tierras bajas del Pacífico y más de 76 especies en la cordillera adyacente por encima de los 1000 metros. Los sitios más ricos soportan 20-27 especies simpátricas y todos estos se encuentran en el occidente colombiano. La forma en que tantas especies pueden coexistir se constituye en un problema para los ecólogos. Mis intereses están enfocados en tratar de entender cómo y por qué se han generado tantas especies.

Estas ranas presentan una alta variación (Figs. 4-15). El dimorfismo sexual en cuanto al tamaño es tal, que las hembras adultas generalmente miden 130-140% del tamaño de los machos adultos. Las especies más pequeñas (tres especies cubanas) apenas alcanzan 10 mm de longitud rostro-cloacal (LRC) y en Colombia se encuentran tres especies miniatura (hembras adultas de 12-17 mm LRC), en el Chocó biogeográfico y sobre la Cordillera Occidental. En cambio, las especies más grandes miden hasta 110-120 mm LRC. Hay especies terrestres, tanto grandes (por ejemplo, *E. biporcatus*), como pequeñas, que carecen de discos expandidos (por ejemplo, *E. mantipus*, Fig. 14). La mayoría carecen de palmeaduras (*Eleutherodactylus* quiere decir dedos sin palmeaduras) pero

algunas especies chocoanas tienen palmeaduras pediales extensivas (por ejemplo, *E. zygodactylus*, Fig. 9). Casi todas son nocturnas, incluso, las de páramos. Se encuentran dos grupos de especies "cabezonas" (Fig. 7), así como también especies muy delgadas con miembros alargados, y otras con miembros muy cortos. La mayoría tienen discos digitales apreciables pero otras carecen de discos solo en los dedos manuales, y otras carecen de discos en cualquier dedo (Fig. 6).

La Amazonia es una área de una diversidad biológica considerable (tanto como el Chocó biogeográfico); sin embargo, si se comparan las listas de especies de localidades distintas en tales áreas, pronto se nota que las listas no difieren de manera apreciable, aún cuando las distancias entre las localidades son grandes (**Duellman & Thomas**, 1996). La diversidad de estas selvas de las tierras bajas es una diversidad alfa (gran número de especies simpátricas) con poca diversidad beta (una diversidad que se refleja en el reemplazo geográfico de las especies). La fauna guayanense difiere netamente de la de la Amazonia por tener una diversidad alfa relativamente baja pero una diversidad beta alta (**Duellman**, 1997). La fauna de la zona andina es parecida a la de la guayanense y disímil con la de la Amazonia o el Chocó biogeográfico. Superpuesto al patrón de la diversidad beta está la disminución en el número de las especies cuando se asciende por las faldas andinas. En los páramos, la fauna de ranas es modesta (generalmente menos de diez especies).

La concentración masiva de la diversidad de especies en una área geográfica tan pequeña recuerda al un efecto archipiélago (**Udvardy**, 1969) pero éstas son cordilleras masivas. En las cordilleras, las especies de ranas, especialmente del género *Eleutherodactylus*, tienen áreas de distribución pequeñas y exhiben una diversidad beta alta, asemejándose al área de un archipiélago de islas. El nivel alto de endemismo significa que estas cordilleras relativamente jóvenes han sido un verdadero crisol de la especiación.

### Dos casos paradigmáticos

Dos casos que involucran ranas del género *Eleutherodactylus* nos permiten confrontar de inmediato cuáles son precisamente los problemas en este asunto. Una rana que identifiqué (**Lynch**, 1986 a) como *E. gaigei* (Dunn) se distribuye desde Costa Rica hasta los alrededores de Buenaventura así como también por las extremidades norteñas de las cordilleras Central y Occidental y el valle del Río Magdalena (Fig. 16). Las ranas de es-



Figura 4. *Eleutherodactylus elegans*. Alto de Chipaqué, Cundinamarca. ICN 40269, macho, 23.3 mm LRC. Una especie terrestre de los páramos.



Figura 5. *Eleutherodactylus gaigei*. Samaná, Caldas. ICN 34977, hembra, 36.9 mm LRC. Foto por Pedro M. Ruíz.



Figura 6. *Eleutherodactylus nervicus*. Chingaza, Cundinamarca. ICN 41449, hembra, 28.0 mm LRC.



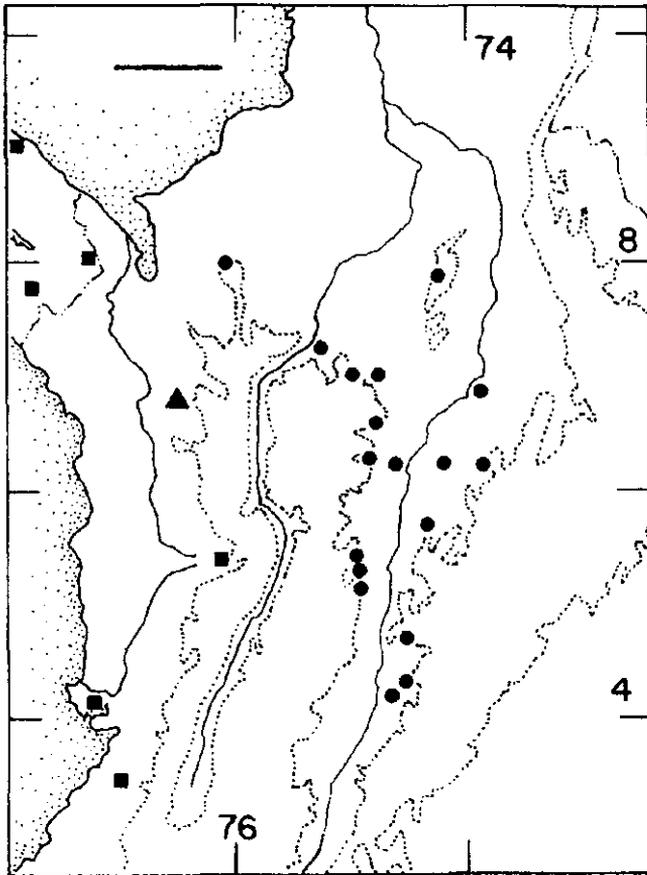
Figura 7. *Eleutherodactylus ruizi*. Bosque de Yotoco, Valle del Cauca. ICN 35086, hembra juvenil, 48.5 mm LRC.



Figura 8. *Eleutherodactylus tribulosus*. Florencia, Caldas. ICN 37169, hembra, 26.5 mm LRC. Foto por Juan M. Renjifo ©.



Figura 9. *Eleutherodactylus zygodactylus*. La Italia, Chocó. ICN 41243, hembra juvenil, 51.9 mm LRC. Una especie riberiana con palmeaduras extensivas.



**Figura 16.** La distribución de *Elutherodactylus gaigei* en Colombia (los símbolos representan uno o más registros). Círculos, el patrón de matices de café; cuadros, patrón de negro con líneas dorsolaterales de amarillo; triángulo, patrón de negro uniforme. La línea de puntos muestra la cota de los 1000 m.s.n.m. La escala es a 100 kms.

tas poblaciones son idénticas morfológicamente (dentro de lo que puedo determinar) pero presentan tres patrones de coloración. Todas las del Chocó biogeográfico son negras, en contraste con los matices de café observados en las poblaciones del medio Magdalena (Fig. 5) y las estribaciones norteñas de la Cordillera Central y la Occidental. Todas las poblaciones del Chocó biogeográfico (exceptuando a la de Amparradó, Antioquia) presentan líneas dorsolaterales de un color amarillo brillante. El único individuo disponible de Amparradó presenta una coloración negra uniforme. Utilizando el método de comparación con el grupo ajeno, la coloración negra es la condición derivada, tal como la condición de líneas dorsolaterales amarillas (aparentemente es un patrón mimético de adultos y/o juveniles de las ranas altamente tóxicas del género dendrobátido *Phyllobates*; Lynch, 1986 a). Las tres poblaciones comparten las peculiarida-

des morfológicas, dentro del grupo de *E. conspicillatus*, de dimorfismo sexual en la forma del tímpano, los dedos largos y delgados, y la forma del paladar. Estas características las considero como sinapomorfias uniendo las distintas poblaciones (definidas o bien geográficamente, o por la combinación de la geografía y los patrones de coloración).

Cuando estaba considerando la nominación taxonómica de las poblaciones distintas fenotípicamente de las áreas del oriente del Chocó biogeográfico, busqué cualquier tipo de diferencia morfológica, sin tener éxito (Lynch, 1986 a). El no haber encontrado ninguna diferencia no es razón suficiente para decir que estas ranas son idénticas morfológicamente, pero me representó una sorpresa, no obstante mi experiencia de 30 de años con ranas del género *Eleutherodactylus* (nunca he encontrado un par de especies que no pudiera distinguir por morfología). Sin embargo, el reto de teoría era lo más serio — ¿como afirmar que las entidades “reunidas” por la ausencia de caracteres derivados constituyen en una entidad? Mi decisión final se basó en hacer lo posible por evitar tomar decisiones arbitrarias (la división de una entidad monofilética en un subconjunto monofilético, del Chocó biogeográfico, y uno parafilético, del medio Magdalena, es arbitraria). Las poblaciones aparentemente permanecen distribuidas alopatricamente (lo usual para animales) y no podía utilizar la opción ecológica (la simpatria) para concluir que tienen que ser especies distintas. El método más moderno para resolver cuestiones sobre el estado de las especies es uno potencialmente útil, aún cuando la alopatría es la explicación dominante de la especiación (Mayr, 1942, 1954, 1963, 1970, 1982, 1997). Una manera menos arbitraria es necesaria para juzgar interrogantes sobre el estado de las especies cuando las poblaciones son alopatricas, en comparación con “el grado de diferencia.” El caso de *E. gaigei* sería citado como “evidencia” positiva para el modelo de Mayr (1954) aunque concibo las poblaciones como coespecíficas (para evitar arbitrariedad).

El segundo caso tiene que ver con las ranas del grupo *E. galdi* (Lynch, 1996; Lynch & Rueda, 1997), en el cual las cuatro especies que lo conforman se encuentran alopatricamente en Colombia y el Ecuador (Fig. 17). El cladograma (Fig. 18) para las cuatro especies está totalmente resuelto y es más interesante porque en este caso pueden identificarse las autapomorfias de cada una de las especies. El hecho de que las autapomorfias fueran identificadas para las cuatro especies se opone a las predicciones del modelo peripátrico (ese diría que únicamente la mitad de las especies tendría autapomorfias, y



Figura 10. *Eleutherodactylus boulengeri*. Ucumarí, Risaralda. ICN 36074, hembra, 32.2 mm LRC.



Figura 11. *Eleutherodactylus brevifrons*. Finca San Pedro, Valle del Cauca. ICN 35909, macho, 16.1 mm LRC.



Figura 12. *Eleutherodactylus helvolus*. Guatapé, Antioquia. ICN 41664, hembra, 25.6 mm LRC.



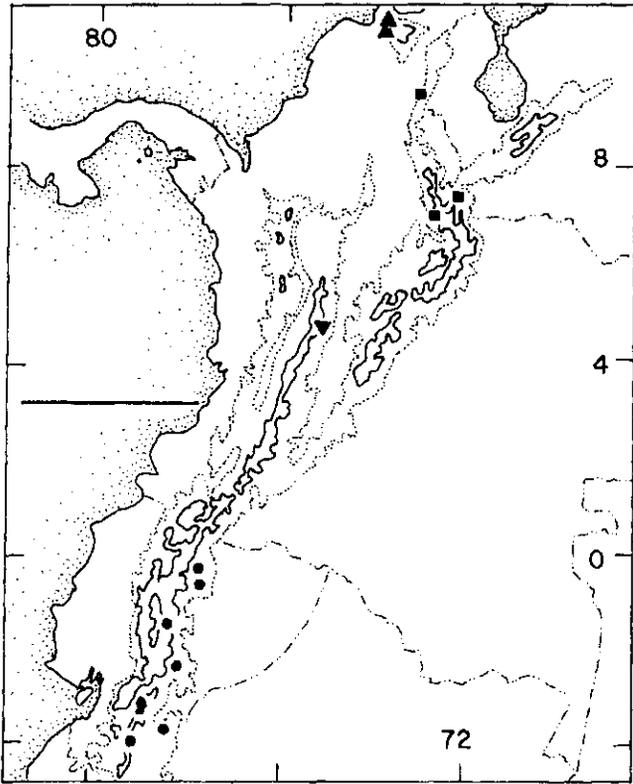
Figura 13. *Eleutherodactylus lemur*. Guatapé, Antioquia. ICN 40791, macho, 17.7 mm LRC.



Figura 14. *Eleutherodactylus mantipus*. Guatapé, Antioquia. ICN 41479, macho, 23.4 mm LRC.



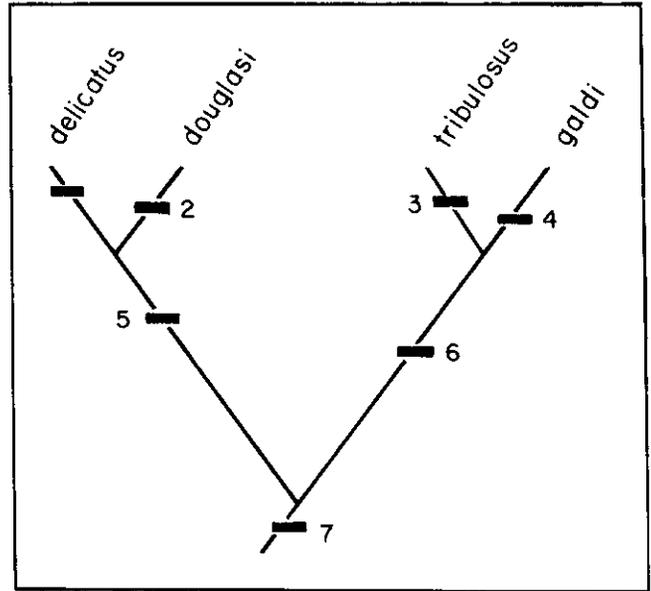
Figura 15. *Eleutherodactylus platytilus*. Finca San Pedro, Valle del Cauca. ICN 36906, hembra, 47.0 mm LRC.



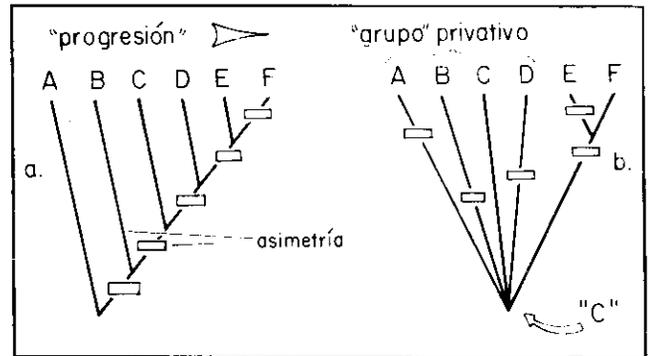
**Figura 17.** Las distribuciones de las cuatro especies del grupo *Eleutherodactylus galdi*. Círculos, *E. galdi*; cuadros, *E. douglasi*; triángulos, *E. delicatus*; triángulos invertidos, *E. tribulosus*. La línea de puntos muestra la cota de los 1000 m.s.n.m. La línea sólida indica la cota de los 3000 m.s.n.m. La escala es a 400 kms.

eso implicaría la necesidad de explicar por qué es posible, en la primera bifurcación, cada linaje esté apoyado por su apomorfia, siendo simétrico con respecto a la evidencia (los caracteres derivados).

Bajo el modelo implícito de evolución de **Mayr (1954 et seq.)**, uno debería encontrar los cladogramas asimétricos (Fig. 19 a), trazando un mapa de la regla de la progresión de **Hennig (1966)**, o encontrar las politomias (multifurcaciones) no resueltas (Fig. 19 b). Esta última posibilidad fue citada por **Wiley & Brooks (1982)**, sin desarrollar los argumentos de por qué ocurriría, como soporte indirecto a sus hipótesis de la Evolución como una forma de Entropía. El modelo de Mayr genera ilusiones acerca de que los mamíferos son más avanzados que los reptiles, los anfibios, los osteictios, etc., es decir, un grupo monofilético por encima de una serie de grupos parafiléticos (o privativos), "probando" la teoría de la evolución para los que necesitan tales pruebas.



**Figura 18.** Cladograma de las especies del grupo *Eleutherodactylus galdi*. Nótese que cada taxon terminal tiene su autapomorfia. Las apomorfias: 1. El dedo quinto abreviado. 2. Manchas blancas y negras en las superficies ocultas. 3. Ramo zigomático profundo. 4. Tubérculos grandes sobre el vientre. 5. Fusión de la vértebra VIII y el sacro. 6. Cresta elevada en la parte posterior del frontoparietal. 7. Tubérculos oscos en los márgenes laterales de los frontoparietales.



**Figura 19.** Dos consecuencias de la forma de la evolución implícita con base en el modelo de especiación de Ernest Mayr. (a). Un resultado que se parece a la progresión evolutiva. (b). Un resultado no restringido en el cual un linaje carece de apomorfias y los otros las tienen (puede producir grupos privativos, definidos por la ausencia de evidencia).

En las ranas del grupo *E. galdi*, no hay cambios ecológicos obvios (pero esto puede reflejar mi incapacidad de identificarlos) porque todas las especies (Fig. 8) viven en el bosque andino en altitudes comparables (o hay un cambio entre el bosque andino bajo y los bosques andinos medianos, véase lo anterior). Aunque algunas

localidades para *E. gaigei* se sitúan en áreas de precipitación muy alta y otras en áreas mucho menos húmedas, la variación entre las localidades hace difícil aseverar cuál cambio ecológico sería concordante con los tres patrones de coloración. En el caso de las ranas del grupo *E. galdi*, una hipótesis de especiación más consistente sería la del modelo de vicarianza (Lynch, 1989). Ese modelo de especiación también se parece al modelo general, por lo menos para los vertebrados (Lynch, 1989; Miner & Dimmick, MS)

El grado al cual los cambios ecológicos trazan un mapa de eventos de especiación es crítico para cualquier evaluación de modelos de especiación. Ross (1972), reseñando sus datos de varios grupos de insectos, sugirió que se encontraría un cambio ecológico entre treinta casos de especiación (una cifra no consistente con el modelo de especiación de Mayr, 1954, sino aparentemente consistente con el modelo de vicarianza).

Durante los últimos años, he venido recopilando un conjunto de datos para las ranas del género *Eleutherodactylus* en las cordilleras colombianas. Dentro de algunos clados, como los de las ranas del grupo *E. thymelensis*, todos los taxones se encuentran en el mismo hábitat pero en sitios diferentes geográficamente (Lynch *et al.* 1997:242), y no hay cambios ecológicos aparentes. En otros casos, como el del grupo *E. loustes* (Fig. 20), hay una evidencia fuerte a favor de un cambio ecológico.

Entre los conjuntos de datos disponibles para mí, hay una propensión muy fuerte (casi uniforme) a que las especies hermanas sean alopátricas (el tema central del argumento largo de Mayr, 1942-1997). Los patrones de distribución y los parentescos vistos en las ranas del grupo *E. anomalus* (Fig. 21) y del grupo *E. acatallelus* son típicos. En cada caso, hay evidencia de reemplazo altitudinal pero del modo estrictamente geográfico. Además, las distribuciones son normalmente restringidas a nivel altitudinal y atenuadas geográficamente (Fig. 22).

Dos casos de simpatria entre especies hermanas están disponibles (Lynch, 1998). Dentro del grupo de *E. sulculus*, la especie *E. xylochobates* sólo se conoce en la Serranía de los Paraguas, mientras su especie hermana, *E. chrysopeps*, se conoce desde los Farallones de Cali hasta la Serranía de los Paraguas. No se puede afirmar que las dos sean especies simpátricas ecológicamente en la Serranía de los Paraguas (tal vez porque cada una es una especie rara) pero la macrosimpatria sugiere que se pueden encontrar como simpátricas ecológicamente con más trabajo de campo. El segundo caso incluye un par de ra-

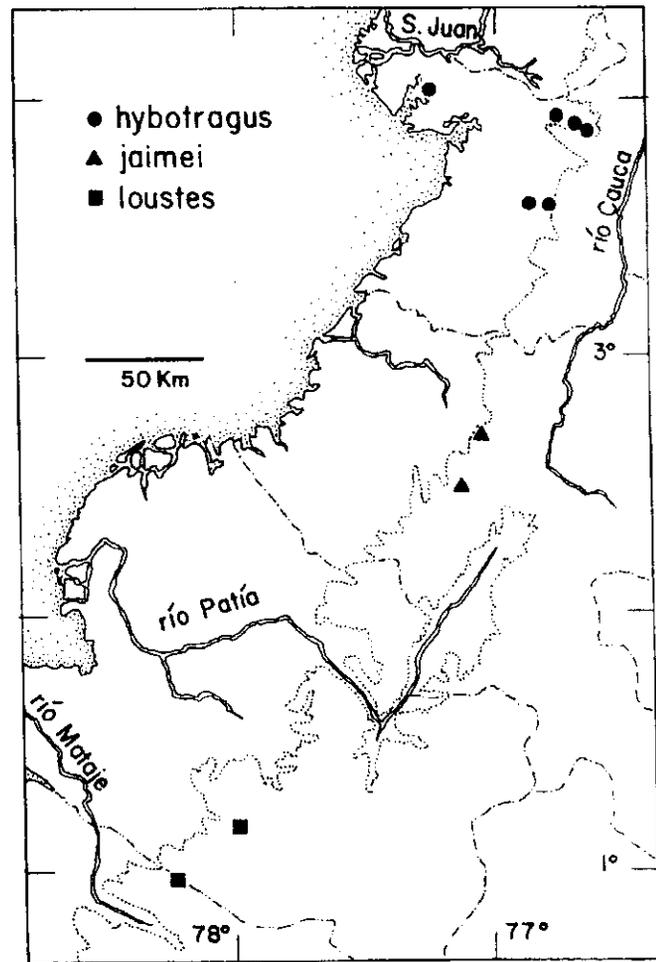


Figura 20. Las distribuciones de las especies del grupo *Eleutherodactylus loustes*. La línea de puntos muestra la cota de los 1000 m.s.n.m.

nas minúsculas, especies hermanas putativas, *E. myops* y *E. quantus*, que están en simpatria en dos localidades de la Serranía de los Paraguas pero en cada localidad una especie diferente es predominante (insinuando una diferenciación ecológica).

Normalmente, las ranas del género *Eleutherodactylus* se distribuyen a manera de bandas (Fig. 21) sobre la Cordillera Occidental. Llegamos a esa conclusión por haber trazado una serie de perfiles altitudinales a lo largo de la Cordillera Occidental, y por el hallazgo de dichas especies ocupaban los mismos rangos altitudinales dentro cada perfil (Lynch, 1998). Esto sugiere que las ranas están limitadas geográficamente por la altitud o la temperatura, uno de sus conceptos correlativos obvios. Con base en el razonamiento de Janzen (1967) y la evidencia ex-

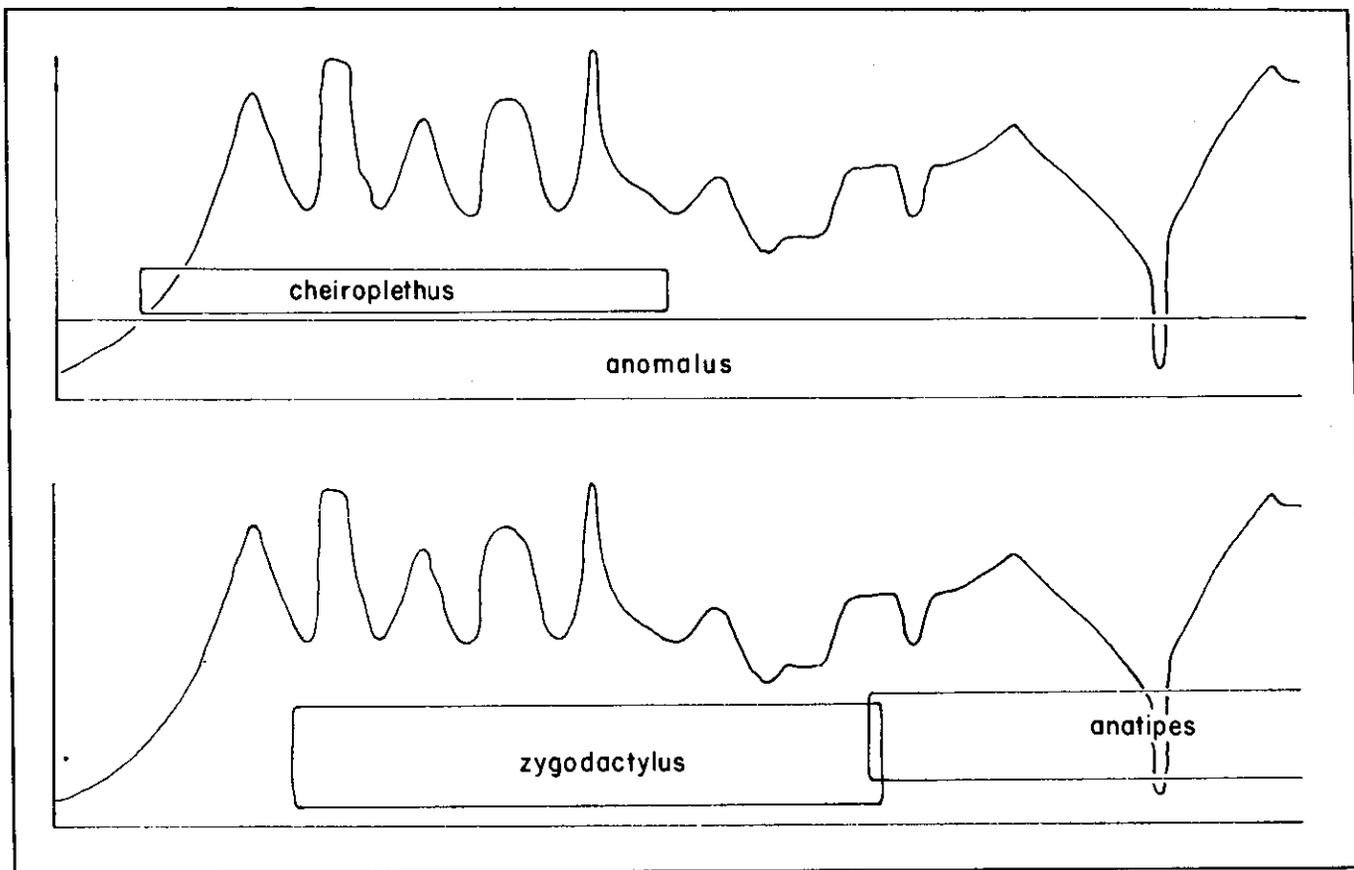


Figura 21. Diagramas de las distribuciones de las especies del grupo *Eleutherodactylus anomalus* sobre un fondo que representa la Cordillera Occidental vista desde el Pacífico. La izquierda es el norte y el mapa cubre 7° de latitud y tiene una exageración vertical de 55 veces.

perimental de Zweifel (1968), sugiero que el éxito en el desarrollo temprano de los embriones está limitado a los dos valores de temperatura (el inferior y el superior). Únicamente este tipo de argumento puede explicar el patrón tan marcado de distribución observado en tantas especies de centrolénidos y *Eleutherodactylus* (y también en otros grupos de ranas).

Utilizando esta hipótesis y los límites inferiores y superiores de las distribuciones para la rica fauna de ranas eleuterodactilinas en el occidente de Colombia (Lynch, 1998), dividí un perfil altitudinal idealizado en cinco entidades (Fig. 23), identificándolas por las letras A-E. Uno puede evaluar el grado en el cual los cambios ecológicos corresponden a los eventos de especiación cuando se substituye el nivel altitudinal por los nombres de los taxones en un cladograma.

Siete cladogramas incluyen cuatro especies o más y los otros dos incluyen tres especies cada uno. Los otros diez

grupos de especies ofrecen datos solamente para pares putativos de especies hermanas y son mucho menos informativos. En los casos de estos diez pares de especies hermanas putativas, siete pares (*appendiculatus-silverstonei*, *bellonamars*, *calcaratus-kelephus*, *deinops-torrenticola*, *juanchoi-helvolus*, *myops-quantus*, y *ptochus-suetus*) ocupan el mismo nivel altitudinal (BB, CC) mientras que los otros tres pares (*bufoniformis-necerus*, *capitonis-verecundus*, y *phalarus-sp*) ocupan niveles adyacentes (AB, BC).

Mucho más informativos son los cladogramas de grupos de tres o más especies. Las cuatro especies del grupo *E. anomalus* [(*anomalus cheiroplethus*) (*anatipes zygodactylus*)] están conformadas por dos pares (AB y AA) mientras que cinco de las seis especies del grupo *E. curtipes* [*cryophilus* ((*curtipes gentryi*) (*buckleyi* (*satagius xestus*)))] ocupan los páramos (E) y una especie (*E. gentryi*) se presenta en el bosque alto-andino (D). Las cuatro especies del grupo *E. diaphonus* [(*diaphonus diogenes*) (*albericoi lichenoides*)] comprenden dos pares

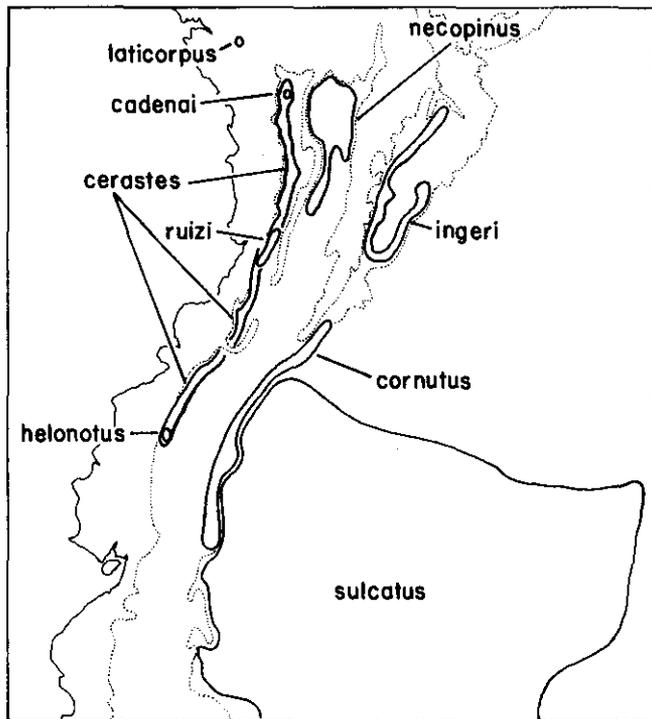


Figura 22. Mapa de las distribuciones de las especies del grupo *Eleutherodactylus sulcatus*.

(BB y BC), al igual que las cuatro especies del grupo *E. galdi* [(*galdi tribulosus*) (*delicatus douglasi*)] (BC y CC). Las cuatro especies del grupo *E. sulculus* [*sulculus* (*cacao*) (*chrysops xylochobates*)] se encuentran en el nivel C y todas las seis especies del grupo *E. thymelensis* [*orecesi thymelensis* (*simoterus*) (*simoteriscus*) (*racemus obmutescens*)] se encuentran en el nivel E. El grupo *E. sulcatus* (nueve especies) es complejo y su cladograma (Lynch, 1997) está bastante resuelto [*laticorpus sulcatus* (*cerastes helonotus*) ((*cadenai ingeri*) (*cornutus*) (*necopinus ruizi*)))]]. Dos pares de especies hermanas aparecen en el mismo nivel (CC y CC) y la especie hermana (*E. cornutus*) de uno de los pares aparece en el nivel B, a igual que las dos especies relacionadas con ese grupo de cinco especies (una tricotomía). En la base del cladograma se encuentran dos especies, una en el nivel A y la otra en el B (otra tricotomía). Cada uno de los dos conjuntos de tres especies, es decir, el grupo de *E. acatallelus* [*siopelus* (*acatallelus* sp B)] y de *E. loustes* [*loustes* (*jaimiei hybotragus*)] incluye un par de especies hermanas en niveles adyacentes con la hermana del par en uno de esos niveles [C (CB) y B (BA)].

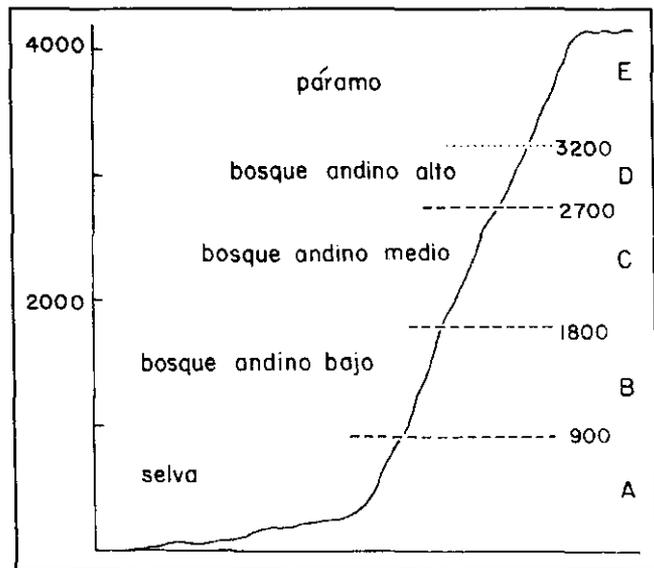
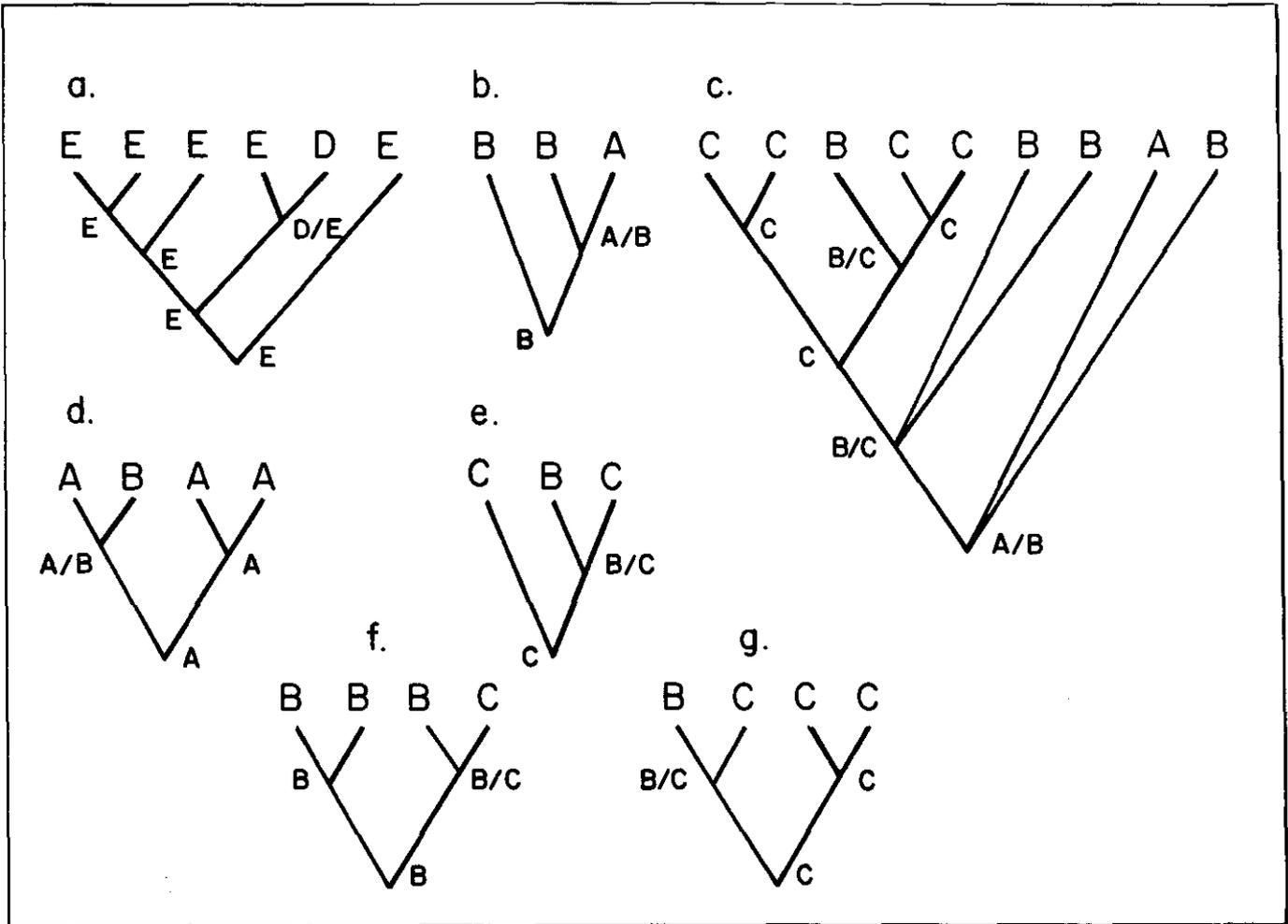


Figura 23. Diagrama de un perfil de una cordillera dividida en pisos altitudinales (basado en los límites inferiores y superiores de las especies del género *Eleutherodactylus*, principalmente de la Cordillera Occidental de Colombia).

El hábitat no es un carácter primario para la sistemática y no puede ser polarizado independientemente de los cladogramas. Como consecuencia, los diez conjuntos de especies hermanas putativas representan solamente datos descriptivos. Para los otros nueve conjuntos, podemos optimizar el hábitat sobre el cladograma para obtener una estimación más parsimoniosa de los hábitats de los ancestros cuando dos o más hábitats están ocupados por las especies del grupo (siete de nueve casos). En estos siete casos, la optimización da como resultado que el nivel A es primitivo para el grupo *E. anomalus* (Fig. 9), el nivel B lo es para los grupos *E. diaphonus* y *E. loustes*, el nivel C para los grupos *E. acatallelus* y *E. galdi* (Fig. 8), y el nivel E para el grupo *E. curtipes*. El par de tricotomías en el cladograma primario del grupo *E. sulcatus*, cuando se combina con sus distribuciones ecológicas, indica que los dos estados-ancestrales más basales no pueden ser determinados con precisión. Sin embargo, un subclado de cinco especies del grupo *E. sulcatus* (Fig. 7) tiene al nivel C como su condición ancestral (Fig. 24).

Una vez las condiciones ancestrales están identificadas, se puede subir a través de los linajes filogenéticos, a fin de ubicar los sitios donde se producen cambios, lo cual se puede determinar únicamente por las identifica-



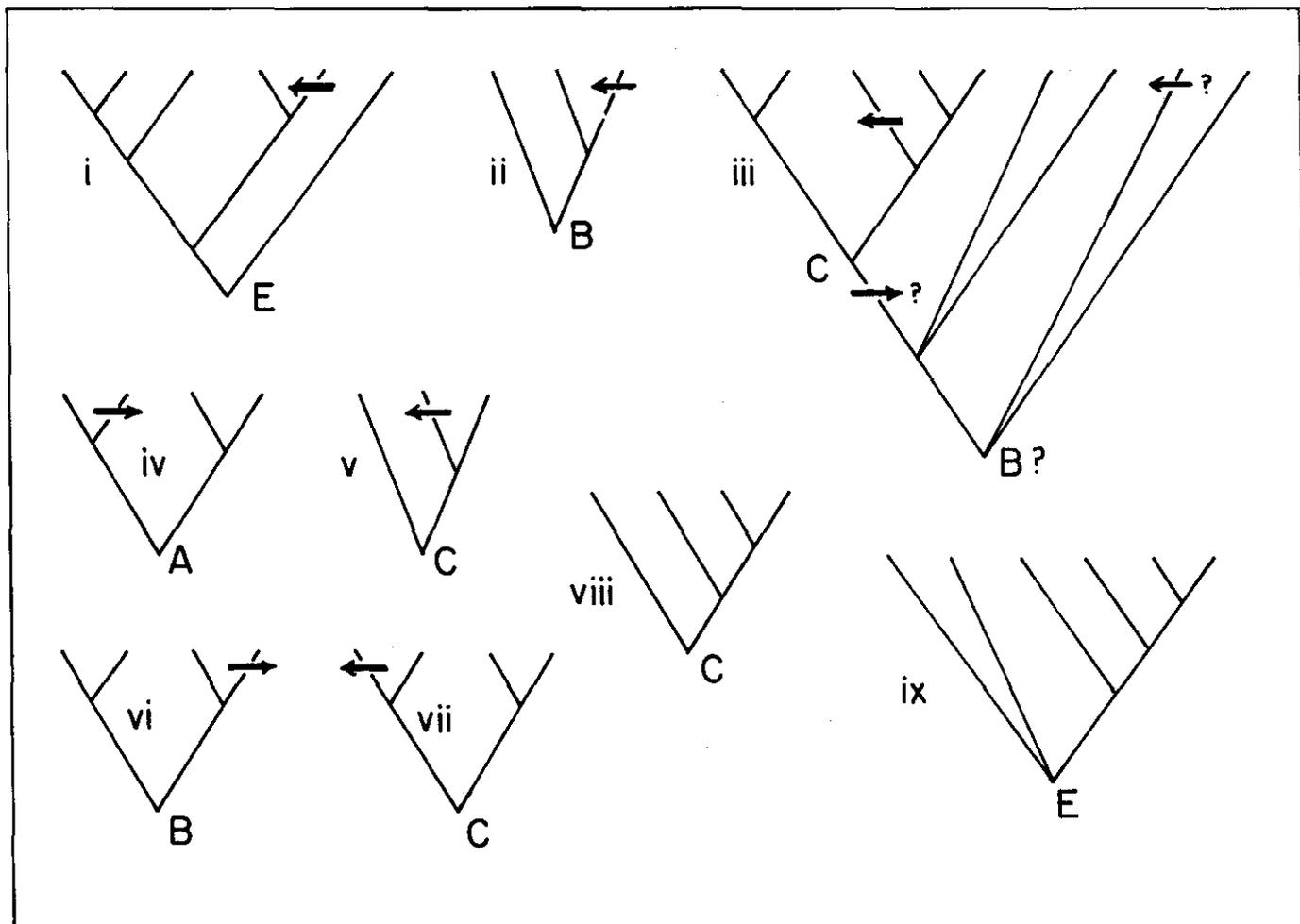
**Figura 24.** Cladogramas de siete grupos de *Eleutherodactylus* en los cuales el hábitat (véase Fig. 23) es substituido por los nombres y la condición del hábitat para los ancestros está determinada por la parsimonia. (a) Grupo *E. curtipes*, (b) grupo *E. loustes*, (c) grupo *E. sulcatus*, (d) grupo *E. anomalus*, (e) grupo *E. acatallelus*, (f) grupo *E. diaphonus*, (g) grupo *E. galdi*. Cuando la decisión es ambigua, se incluyen las dos posibilidades (p. ej. A/B).

ciones definitivas del hábitat (Fig. 25). Están identificados dos cambios sin ambigüedad hacia arriba (grupos *E. anomalus* y *E. diaphonus*), así como uno ambiguo (grupo *E. sulcatus*). También se han identificado cinco cambios sin ambigüedad hacia abajo (grupos *E. acatallelus*, *E. curtipes*, *E. galdi*, *E. loustes*, y *E. sulcatus*) y uno ambiguo (grupo *E. sulcatus*). El número de cambios sin ambigüedad en el hábitat (siete) es bajo con relación al número de eventos resueltos de la especiación (28) pero alto con relación a la estimación de Ross (1972).

Los diez pares de especies hermanas putativas aportan datos nuevos a los previos porque aún sin disponer de una estimación de cuál estado es primitivo, hay diferen-

cias del hábitat en tres pares, lo cual quiere decir que debe haber tres cambios adicionales (sin saber la dirección) para estos diez eventos de especiación. Utilizando los pares de especies hermanas putativas (un cambio/ tres eventos de especiación) o los cladogramas (un cambio/ cuatro eventos de especiación), encontramos resultados comparables.

El único tipo de cambio posible para los páramos es un cambio hacia abajo y el único para las selvas es un cambio hacia arriba, mientras que para los bosques andinos cualquier cambio es posible. Examinando los datos disponibles, parece ser que la frecuencia de cambios del hábitat no se da al azar con respecto al hábitat



**Figura 25.** Cladogramas mostrando los sitios de cambios ecológicos. Las flechas hacia la derecha representan cambios hacia arriba mientras que las flechas hacia la izquierda representan cambios hacia abajo. Las topologías de los cladogramas están basadas en los cladogramas primarios de nueve grupos del género *Eleutherodactylus*. (i) Grupo *curtipes*, (ii) grupo *loustes*, (iii) grupo *sulcatus*, (iv) grupo *anomalus*, (v) grupo *acatalleus*, (vi) grupo *diaphomus*, (vii) grupo *galdi*, (viii) grupo *sulcatus*, (ix) grupo *thymelensis*.

ancestral y se aproxima a las expectativas de **Mayr** (1954) en bosques andinos bajos pero no se aproxima en otros niveles (Tabla 1). Los pares de especies hermanas putativas también parecen concordar con esta conclusión (uno A/B, dos B/C).

En estos datos, hay un sesgo numérico en los cambios hacia abajo (5 + 1?) versus arriba (2 + 1?), pero también hay una desviación en relación con la altitud (los cambios hacia abajo se presentan, en su mayor parte, en estratos más altos, y los cambios hacia arriba principalmente en estratos bajos). Una parte de este sesgo es una consecuencia del efecto de los límites (ver atrás), y otra de la desigualdad en las distribuciones de los grupos

(hay únicamente un grupo disponible de las tierras bajas) pero el patrón me parece real.

### Explicaciones Generales de los Datos

Me parece que de estos datos surgen cinco explicaciones generales.

*La Alopatria es el Factor Principal en la Especiación.* Dentro de las 65 especies mencionadas en este trabajo, hay únicamente dos casos que reflejarían la especiación simpátrica. Aunque aquí no hago esfuerzo directo por distinguir la especiación peripátrica de la vicarianza, la frecuencia baja (6%) de la especiación simpátrica es con-

**Tabla 1.** Cambios ecológicos en relación con el número de eventos de especiación, en varios pisos altitudinales, para los datos de nueve cladogramas de ranas del género *Eleutherodactylus*.

Hábitat ancestral	Número de grupos	Cambios	Número de eventos de especiación	Frecuencia de cambios
E	2	1 abajo	10	10%
C	3	2 abajos	12	17%
B	3	1 (+1?) arriba, 2 (+1?) abajos	9	56%
A	1	1 arriba	3	33%

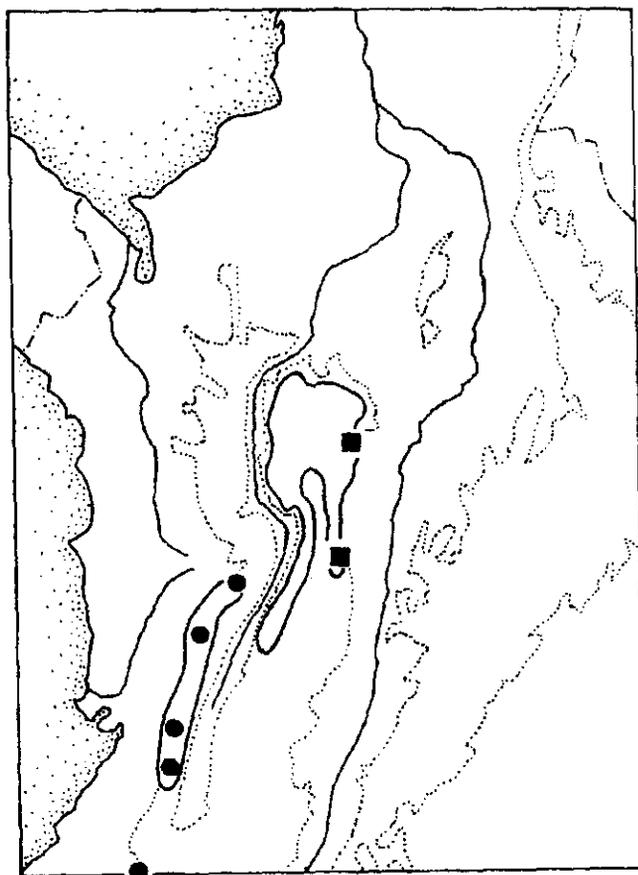
sistente con mi anterior evaluación (Lynch, 1989) usando aves, peces, y otras ranas.

**Ecológica.** La forma particular de las distribuciones me parece explicable al involucrar la hipótesis probable (es decir, rechazable) de que las primeras etapas del desarrollo de las ranas tropicales son muy sensibles a cambios de la temperatura ambiental (tal vez con mayor fuerza en pisos más altos, extrapolado de Janzen, 1967). Dicha hipótesis proporciona los límites abióticos inferiores y superiores de las distribuciones. La forma de las distribuciones de las especies andinas no está restringida a las especies de *Eleutherodactylus* sino parece ser general (Ruiz-C. et al., 1996) pero se necesita un análisis ordenando los taxones en modos reproductivos distintos para ver si algunos modos (por ejemplo, desarrollo directo y terrestre) son más sensibles que otros.

**Novedad de los Grupos en el Area.** Los pocos cambios aparentes en dirección ascendente se encuentran en especies del subgénero *Craugastor*, un grupo predominantemente (94%) de América Central. Presuntamente, estas son especies inmigrantes recientes a Colombia, después de la unión pliocénica de América del Sur y América Central. Estos son los únicos casos de cambios de las tierras bajas por encima de los flancos andinos, y constituye una explicación filogenética que me parece más racional que una adaptativa independiente que pasa por alto los parentescos.

**La Historia Geológica.** Hay un patrón reiterativo (Fig. 26) entre el sector central de la Cordillera Occidental y la parte norte de la Cordillera Central (CC). Cuatro pares de especies aparentemente hermanas muestran el mismo patrón (*deinops-torrenticola*, *juanchoi-helvolus*, *ptochus-suetus*, y *ruizi-necopinus*). Un quinto par (*albericoi-lichenoides*) difiere solamente porque tiene un cambio ecológico concomitante (BC) pero muestra el mismo patrón geográfico. Ya que esto se presenta en cuatro (o cinco) clados separados, es una evidencia

fuerte para una explicación eco-geológica única. Hasta el momento no he tenido éxito en la identificación de un patrón geográfico común dentro de la Cordillera Occidental, para el cual mi base de datos es mucho más grande, pero muchos taxones quedan a la espera de un análisis.



**Figura 26.** Areas de endemismo vistas en cinco grupos del género *Eleutherodactylus* (líneas sólidas). Los símbolos representan las distribuciones conocidas para un par de especies, *E. helvolus* (cuadros) y *E. juanchoi* (círculos). La línea de puntos muestra la cota de los 1000 m.s.n.m.

Un segundo aspecto de la historia geológica es pertinente en estos datos. Se ha dicho frecuentemente que la fauna andina debería ser joven y debería ser derivada de la fauna de las tierras bajas. No puedo hablar directamente sobre la primera aserción, lo cual me parece el mismo error avanzado por los estudiantes de las islas (cuyo argumento es como sigue: como la tierra tiene únicamente tantos millones de años, los taxones que la ocupan no podrían tener más años). El argumento de que los taxones andinos se derivan de las tierras bajas está relacionado también con la analogía de las islas, pero podemos confrontar esto directamente utilizando cladogramas (Lynch, 1986 b; Lynch & Duellman, 1997). El hecho de que los grupos discutidos en este trabajo son predominantemente andinos (únicamente cuatro grupos tienen parientes en las tierras bajas) es contrario a la suposición (o mito) de los orígenes de las tierras bajas. En el caso de dos de los grupos bajo estudio (de *E. loustes* y *E. sulcatus*), el hábitat ancestral es andino, no de tierras bajas (y para los otros dos grupos, el argumento de la novedad del grupo en el área es igualmente efectivo). Además, estos cuatro casos incluyen únicamente selvas y el bosque andino bajo. Como tal, apenas proporcionan un soporte para esta idea (o mito) popular.

Las hipótesis filogenéticas no están disponibles para la mayor parte de la fauna colombiana de ranas, pero lo que está disponible es la aseveración de que la mayoría de los grupos de las tierras bajas no tiene ningún pariente de los Andes y la mayoría de los grupos andinos no tienen ningún pariente en las tierras bajas (Lynch *et al.*, 1997). Para los grupos que comparten los Andes y las tierras bajas (tal como *Eleutherodactylus*), se requiere de más cladogramas para distinguir entre mitos y posibilidades.

La historia biogeográfica del grupo *E. sulcatus* es compleja y un subclado (*cornutus* (*necopinus ruizi*)) es congruente con las tres cordilleras (oriental (central occidental)). Lynch (1997) surgió que un par de especies (*cadnai ingeri*) representa una manifestación (en el sentido de Nelson & Platnick, 1981) del subclado *cornutus-necopinus-ruizi*, en el cual la tercera especie (de la Cordillera Central) era o extinta o desconocida. Su hipótesis está sujeta a ser rechazada potencialmente (si se descubre, y no es la especie hermana de *E. cadnai*) o a no serlo (si es extinta, y no se puede descubrir). Sin embargo, debido a que el grupo de *E. sulcatus* está tan claramente asociado con los Andes y muestra cierto patrón redundante de áreas, surgieron que los eventos iniciales de especiación fueron pre-andinos, tal vez apareciendo en las colinas o en los arcos de islas, y que los eventos posteriores correspondieron al surgimiento de las cadenas montañosas durante las orogenias andinas.

*Glaciación.* La perturbación general más próxima a estos ambientes fue la serie de eventos de glaciación que en su momento generó ciclos húmedos y secos, influyendo en la distribución de los bosques (Haffer, 1969; Simpson, 1979) y en los niveles del hábitat sobre el transecto altitudinal (Van der Hammen, 1974; Van der Hammen & Cleef, 1986).

La disminución de la humedad ambiental tendría efectos dramáticos sobre la capacidad de las ranas eleutherodactílicas de permanecer en un área, y el aumento daría paso a la expansión de la distribución de las áreas hoy cerradas por deficiencias de humedad. Si mi hipótesis sobre la importancia de temperaturas (en sitios más altos) en la delimitación de las distribuciones es correcta, entonces, el descenso o el aumento de la temperatura global tendría un efecto directo sobre las distribuciones de las especies de *Eleutherodactylus*, independientemente del supuesto efecto de la estructura de la vegetación (respondiendo a la pregunta planteada por Lynch & Duellman, 1980). En el curso de los eventos glaciales, los páramos disminuyeron los límites de los flancos andinos, y en el curso de los períodos interglaciales, se retiraron dichos flancos hacia arriba (Simpson, 1979; Van der Hammen & Cleef, 1986).

Los efectos glaciales (descensos o ascensos de las zonas ecológicas) obviamente proveen un mecanismo poderoso para explicar cualquier patrón y este es el punto débil de cada uno de tales mecanismos. La desviación hacia los cambios descendentes representaría el fantasma del último ciclo glacial y/o sugeriría que la adaptación a un clima más caliente podría ser más fácil (de alguna manera) para las ranas del género *Eleutherodactylus* que la adaptación a un clima más frío. Esta última posibilidad representa otro argumento en contra de la opinión popular de que la fauna de las tierras altas es derivada de la de las tierras bajas.

No he probado nada aquí utilizando estos datos. Más bien, espero haber integrado una buena cantidad de datos y una serie de hipótesis previas-distintas. Únicamente más datos y pruebas más precisas (tal vez de hipótesis mejor articuladas) nos capacitarán para conseguir una hipótesis menos rechazada de la Historia Natural, para la cual los datos biológicos y los datos geológicos representen estimaciones independientes de la única historia del planeta y de la vida (Rosen, 1975).

#### Agradecimientos

Por su camaradería en el campo, especialmente a Cristina Ardila, Fernando Castro, Taran Grant, Juan Renjifo.

Jorge Restrepo, Vicente Rueda, el difunto Pedro Ruíz, y Ricardo Sánchez. Por sus contribuciones (directas o indirectas) en debates sobre mis ideas (y sus precursores) durante los últimos diez a veinte años, a Byron Adams, Daniel R. Brooks, William E. Duellman, Jaime Galvis, Jürgen Haffer, Jorge Hernández, Tony Joern, Mary Mickevich, Orlando Rangel, Edward O. Wiley, los difuntos Donn E. Rosen y Pedro M. Ruíz, y los estudiantes de mis cursos de Especiación y Conservación (U. Nacional 1996), Introducción a la Sistemática (U. Magdalena 1998), "Macroevolución" (U. Nebraska 1996-97), Sistemática Animal (U. Nacional 1998), Sistemática Vegetal (1997), Sistemática Filogenética (U. Nacional 1997-98) y el Primer Curso-Taller de Sistemática Filogenética, Biogeografía y sus Aplicaciones en Biodiversidad y Conservación (Villa de Leyva 1997). Por su ayuda de eliminar mi espanglish, a Gina Paola Méndez, Ana Restrepo, y Angela Suárez.

Varias versiones de este manuscrito sirvieron como base de conferencias y se beneficiaron de las discusiones en los Jueves de la Biodiversidad (U. Nacional), el 33° Congreso de la Asociación de Ciencias Biológicas (U. Tolima), y el V° Simposio de Biología (Univalle).

Por último, a un grupo de amigos muy queridos quienes siempre estuvieron dispuestos a responder a una encuesta particular que en el momento me pareció importante aprender: Alberto Cadena, Santiago Díaz, Jaime Galvis, el "Mono" Hernández, y especialmente el fallecido Pedro Miguel Ruíz-Carranza.

## Bibliografía

- Brooks, D. R. & D. A. McLennan.** 1991. *Phylogeny, Ecology and Behavior: A Research Program in Comparative Biology*. University of Chicago Press, Chicago.
- Duellman, W. E.** 1997. Amphibians of the La Escalera region, southeastern Venezuela: taxonomy, ecology, and biogeography. *Scientific Papers, Natural History Museum, the University of Kansas* (2): 1-52.
- Duellman, W. E. & R. Thomas.** 1996. Anuran amphibians from a tropical dry forest in southeastern Peru and comparisons of the anurans among sites in the upper Amazon Basin. *Occasional Papers of the Natural History Museum, the University of Kansas* (180): 1-34.
- Eldredge, N. & J. Cracraft.** 1980. *Phylogenetic Patterns and the Evolutionary Process/ Method and Theory in Comparative Biology*. Columbia University Press, New York.
- Eldredge, N. & S. J. Gould.** 1973. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. pp. 82-115. In,
- T. J. M. Schopf** (Ed.), *Models in Paleobiology*. Freeman, Cooper & Co., San Francisco.
- Fisher, R. A.** 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon Press, Oxford.
- Haffer, J.** 1969. Speciation in Amazonian forest birds. *Science* **165**: 131-137.
- Haldane, J. B. S.** 1957. The cost of natural selection. *Journal of Genetics* **55**: 511-524.
- Hennig, W.** 1966. *Phylogenetic Systematics*. University of Illinois Press, Urbana.
- Janzen, D. H.** 1967. Why mountain passes are higher in the tropics. *American Naturalist* **101**: 233-249.
- Kluge, A. G.** 1997. Testability and the refutation and corroboration of cladistic hypotheses. *Cladistics* **13**: 81-96.
- Lynch, J. D.** 1986a. Mimetic and non-mimetic populations of *Eleutherodactylus guigeae* in Lower Central America and Colombia (Amphibia, Anura, Leptodactylidae). *Studies on Neotropical Fauna and Environment* **20**: 195-202.
- \_\_\_\_\_. 1986b. Origins of the high Andean herpetological fauna. pp. 478-499. In, **F. Vuilleumier & M.**
- Monasterio** (Eds.), *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford University Press, Oxford.
- \_\_\_\_\_. 1989. The gauge of speciation: on the frequencies of modes of speciation. pp. 527-553. In, **D.**
- Otte & J. A. Endler** (Eds.), *Speciation and Its Consequences*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.
- \_\_\_\_\_. 1996. A new frog (*Eleutherodactylus*: Leptodactylidae) from the Andes of eastern Colombia, part of a remarkable pattern of distribution. *Copeia* **1996**: 103-108.
- \_\_\_\_\_. 1997. Intra-generic relationships of mainland *Eleutherodactylus* II. A review of the *Eleutherodactylus sulcatus* group. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **21** (80): 353-372.
- \_\_\_\_\_. 1998. New species of *Eleutherodactylus* from the Cordillera Occidental of western Colombia with a synopsis of the distributions of species in western Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **22** (82): 117-148.
- Lynch, J. D. & W. E. Duellman.** 1980. The *Eleutherodactylus* of the Amazonian slopes of the Ecuadorian Andes (Anura: Leptodactylidae). *Museum of Natural History of the University of Kansas, Miscellaneous Publications* (69): 1-86.
- \_\_\_\_\_ & \_\_\_\_\_. 1997. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* (Leptodactylidae) in western Ecuador: systematics, ecology, and biogeography. *Natural History Museum of the University of Kansas, Special Publications* (23): 1-236.
- Lynch, J. D. & J. V. Rueda-Almonacid.** 1997. Three new species of frogs (*Eleutherodactylus*) from cloud forests in eastern Departamento Caldas, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* **21** (79): 131-142.
- Lynch, J. D. & P. M. Ruiz-Carranza.** 1985. A synopsis of the frogs of the genus *Eleutherodactylus* from the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* (711): 1-59.
- Lynch, J. D., P. M. Ruiz-Carranza & M. C. Ardila-Robayo.** 1997. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Aca-*

- demia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales **21** (80): 237-248.
- Mayden, R. L.** 1992. Systematics, Historical Ecology and North American Freshwater Fishes. Stanford University Press, Stanford.
- Mayr, E.** 1942. Systematics and the Origin of Species. Columbia University Press, New York.
- \_\_\_\_\_. 1954. Change of genetic environment and evolution, pp. 157-180. In, **J. Huxley, A. C. Hardy & E. B. Ford** (Eds.), Evolution as a Process. Allen & Unwin, London.
- \_\_\_\_\_. 1963. Animal Species and Evolution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- \_\_\_\_\_. 1970. Populations, Species and Evolution. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- \_\_\_\_\_. 1982. The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- \_\_\_\_\_. 1997. This is Biology/ The Science of the Living World. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Miner, M. K. & W. W. Dimmick.** MS. Estimating the frequency of modes of speciation and the frequency of punctuated equilibrium: examples from fourteen marine lineages.
- Nelson, G. & N. Platnick.** 1981. Systematics and Biogeography/ Cladistics and Vicariance. Columbia University Press, New York.
- Rosen, D. E.** 1975. A vicariance model of Caribbean biogeography. Systematic Zoology **24**: 431-464.
- Ross, H.** 1972. An uncertainty principle in ecological evolution, pp. 133-157. In, **R. T. Allen & F. C. James** (Eds.), A Symposium on Ecosystematics. University of Arkansas Museum, Fayetteville, Arkansas.
- Ruiz-Carranza, P. M., M. C. Ardila-Robayo & J. D. Lynch.** 1996. Lista actualizada de la fauna de Amphibia de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales **20** (77): 365-415.
- Simpson, B. B.** 1979. Quaternary biogeography of high montane regions of South America, pp. 157-188. In, **W. E. Duellman** (Ed.), The South American Herpetofauna: Its Origin, Evolution, and Dispersal. Museum of Natural History, the University of Kansas, Monograph (7).
- Udvardy, M. D. F.** 1969. Dynamic Zoogeography. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Van der Hammen, T.** 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. Journal of Biogeography **1**: 3-26.
- Van der Hammen, T. & A. M. Cleef.** 1986. Development of the high Andean páramo flora and vegetation, pp. 153-201. In, **F. Vuilleumier & M. Monasterio** (Eds.), High Altitude Tropical Biogeography. Oxford University Press, Oxford.
- Wiley, E. O.** 1981. Phylogenetics: The Theory and Practice of Phylogenetic Systematics. Wiley, New York.
- Wiley, E. O. & D. R. Brooks.** 1982. Victims of history – a nonequilibrium approach to evolution. Systematic Zoology **31**: 1-24.
- Wiley, E. O. & R. L. Mayden.** 1985. Species and speciation in phylogenetic systematics, with examples from the North American fish fauna. Annals of the Missouri Botanical Garden **72**: 596-635.
- Zweifel, R. G.** 1968. Reproductive biology of anurans of the arid southwest, with emphasis on adaptation of embryos to temperature. Bulletin of the American Museum of Natural History **140**: 1-64.

## ENTREGA DE DIPLOMAS DE LA ACADEMIA ESPAÑOLA

En solemne ceremonia celebrada el pasado 11 de diciembre en el paraninfo de la Academia Colombiana, el doctor Angel Martín Municio, presidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales hizo entrega de los diplomas que acreditan como miembros correspondientes de esa entidad a los siguientes académicos honorarios y de número de nuestra corporación:

Carlo Federici, Mohamed Hassan, Juan Herkrath, Rodolfo Llinás, Thomas van der Hammen, Victor S. Albis, Inés Bernal de Ramírez, Carlos Eduardo Calderón, Julio Carrizosa Umaña, Carlos Corredor, Manuel del Llano, Santiago Díaz Piedrahita, Hernando Dueñas, Alicia Dussan de Reichel, Jesús Eslava Ramírez, Enrique Forero, José A. Lozano, Jairo Mojica, Paulina Muñoz, Lorenzo Panizzo, Margarita Peréa, Gerardo Pérez, Eduardo Posada, Augusto Rivera, Humberto Rodríguez, Carlos Eduardo Vasco, José Luis Villaveces y Moisés Wasserman. Durante la sesión celebrada para tal fin, el presidente de la Academia, Dr. Luis Eduardo Mora pronunció las siguientes palabras:

En nombre de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, quiero, ante todo presentar ante quienes nos acompañan en esta reunión especial, el más cordial saludo de bienvenida. Su presencia contribuye a dar particular relevancia a este acto que de suyo reviste singular importancia en el contexto de las relaciones que desde su fundación ha mantenido nuestra institución con la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid.

Por lo mismo, hoy nos sentimos muy honrados con la presencia y participación en este acto, del muy ilustre presidente de la Academia Española, Don Angel Martín Municio, a quien en nombre de la Academia Colombiana me es particularmente grato, presentar el más atento y cordial saludo de bienvenida, con los deseos porque disfrute de una grata permanencia entre nosotros.

Sea también la oportunidad de expresarle los más reconocidos agradecimientos por haber aceptado nuestra invitación a venir a la ciudad y hacer entrega, en este acto académico, del diploma de miembro correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España, a los miembros honorarios y de número de nuestra academia, que por una u otra circunstancia, aún no hubieren recibido esta distinción.

Tradicionalmente la Academia española concede esta distinción a los miembros de número y honorarios que ya hubiesen sido promovidos, por la Academia Colombiana a tales categorías, en razón de sus méritos personales, de la calidad de sus producciones científicas, y, de modo especial, de valiosos aportes individuales, de una u otra índole, al logro de los objetivos de la Academia.

Los mismos objetivos que ya fueran señalados por los fundadores de nuestra entidad, en la ya lejana década de los años treinta, y que al aproximarse el nuevo siglo y milenio, recobran renovada validez y vigencia, sobre todo ante la certidumbre de que del desarrollo de la capacidad científica que logre construir y consolidar cada nación, va a depender prioritariamente su futuro.

Por la misma razón, ninguna otra mejor oportunidad para reiterar y recordar que fue también en aquella década de los años treinta, cuando don José Joaquín Casas, ministro plenipotenciario de Colombia ante el gobierno de España, obtuvo el reconocimiento de nuestra Academia como "Correspondiente" de la institución española, y más tarde la aprobación de sus estatutos y reglamento interno, antecedentes que hubieron luego de servir de argumento para que la Academia Colombiana de Ciencias recibiera el apoyo institucional y financiero del Estado colombiano y pudiera iniciar prontamente sus labores.

Fueron también estos antecedentes, y el mutuo reconocimiento, que siempre han existido, los que

inspiraron la suscripción del Convenio de Cooperación entre las dos entidades, justamente hace cuatro años en este mismo recinto, con ocasión de la visita a Colombia de su ilustre presidente, excelentísimo señor don Angel Martín Municio. Cabe destacar que el espíritu del citado convenio, no es otro que el de promover las relaciones interinstitucionales, como también aquellas que conciernen a sus miembros, o en general, a personalidades que trabajen en centros de investigación de uno y otro país, todo ello, tras el objetivo de contribuir al progreso científico y al intercambio de información y experiencias entre las comunidades científicas de los dos países.

No me cabe duda de que con este acto habrá de iniciarse una época de mayor acercamiento entre nuestras instituciones, en consonancia con el papel cada vez más decisivo de la ciencia en la hora presente, y con mayor razón, con el que habrá de corresponderle en los próximos siglo y milenio. Para concluir, deseo reiterar nuestros agradecimientos a quienes nos acompañan en este acto, y expresar las más sinceras felicitaciones a los señores miembros honorarios y de número de la Academia Colombiana que recibirán en este acto el diploma que les acredita como miembros correspondientes de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España.

En nombre de los académicos recipiendarios, el Dr. Santiago Díaz Piedrahita expresó las siguientes palabras:

Por honroso encargo del Dr. Luis Eduardo Mora, Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias, debo expresar el agradecimiento de quienes hemos recibido los diplomas que nos acreditan como miembros correspondientes de la Real Academia Española de Ciencias. Es éste un motivo obligado para destacar los tradicionales vínculos de amistad y colaboración existentes entre las academias colombianas y sus congéneres españolas. Estos vínculos se iniciaron en mayo de 1871, cuando se organizó la Academia Colombiana de la Lengua, haciendo nacional una institución de la madre Patria; por tal hecho, la colombiana se convirtió en la primera academia de América en organizarse como correspondiente de una de las academias de España, ejemplo que prontamente imitarían entidades similares de otros países de nuestro continente.

A su vez, la Academia Colombiana de Historia ha mantenido, desde 1902, excelentes relaciones con su similar española, de la cual es correspondiente; no podía ser de otra forma, puesto que compartimos, no sólo una misma lengua, sino una historia que fue común por cerca

de cuatrocientos años. Y bien conocido es el caso de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, que aunque tiene sus antecedentes en la Academia Nacional, creada en 1826 por el general Francisco de Paula Santander, en su nueva época se organizó como filial de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España, forma en la cual ha funcionado a lo largo de trece lustros.

Cabe destacar en esta oportunidad, como esos lazos de amistad y colaboración académica, tradicionales entre las entidades colombianas y españolas, tienen arraigo en una gran empresa que sirvió de punto de partida para el desarrollo cultural y científico de la nación colombiana. La Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, surgió como una consecuencia natural de las políticas de la Ilustración española, y se convirtió con los años en un verdadero instituto, cuya finalidad era la de estudiar los recursos naturales del Virreinato, y propender por su posible aprovechamiento. En el seno de la Expedición se formaron los mejores exponentes de una juventud que vivía ávida de conocimientos; en realidad la biblioteca, los gabinetes de historia natural, y la escuela de pintura fueron el crisol en el que se forjaron destacados personajes que jugaron un papel preponderante en los campos de la política, las letras, las ciencias y las artes: Salvador Rizo, Francisco Javier Matis, fray Diego García, Eloy Valenzuela, Francisco José de Caldas, Francisco Antonio Zea, Sinfaroso Mutis, José María Carbonell, y tantos otros que no es del caso mencionar en esta oportunidad. Lo que sí debemos resaltar, es como las artes y las ciencias tienen sus raíces en la Expedición Botánica.

A pesar de haber sido llevados a España en 1816 los materiales fruto de casi treinta años de actividad, la Expedición sigue siendo el punto de partida del progreso cultural de la nación colombiana, motivo por el cual los esfuerzos para reanudar sus labores y publicar sus resultados, así como el análisis detallado de sus logros, y el estudio de sus personajes, han servido para estrechar los vínculos de amistad y colaboración entre las academias y los centros de investigación de ambos países.

Francisco Antonio Zea, quien fuese integrante del equipo integrado por Mutis, y luego director del Real Jardín Botánico de Madrid, en su condición de diplomático de Colombia en Europa, colaboró con el general Francisco de Paula Santander en sus esfuerzos por reiniciar en el país las tareas de propias de la Expedición, por reconstruir los gabinetes de historia natural y por organizar un museo. En 1826 se creó la Academia

Nacional para dar respaldo a la Universidad Central y promover las artes y las ciencias en nuestro medio.

A mediados del siglo XIX, y durante la administración de José Hilario López se estableció la Comisión Corográfica, empresa que a lo largo de nueve años se dedicó al estudio de la realidad nacional. Logros de la Comisión fueron entre otros, el primer inventario de los recursos naturales de nuestra nación, el consecuente descubrimiento de nuevos recursos, el levantamiento cartográfico del país, la definición de los linderos y de las distancias entre las diferentes poblaciones, el reconocimiento de las regiones, el mejoramiento de las comunicaciones y la definición de políticas progresistas que beneficiaron a sus habitantes. Fue la Comisión el primer intento científico institucional que logró un alcance global a través el conocimiento de las distintas regiones. La aplicación y difusión de las nociones adquiridas contribuyó al mejoramiento económico de la sociedad.

Y fue precisamente José Jerónimo Triana, el responsable de las tareas botánicas de tal empresa científica, quien hizo los primeros esfuerzos tendientes a publicar la iconografía mutisiana, reavivando con ello los vínculos de amistad con la comunidad científica y cultural de España. Entre otros, Triana contó con la colaboración de don Carlos Holguín, embajador colombiano en Londres, y de la emperatriz Eugenia de Montijo. La falta de recursos técnicos y económicos impidió entonces la publicación de la Flora de Mutis. También, y como ya se señaló, durante la segunda mitad del siglo XIX se creó la Academia Colombiana de la Lengua como correspondiente de la Real Academia Española.

En 1932, y por iniciativa del doctor Enrique Pérez Arbeláez, destacado personaje de la ciencia colombiana, uno de los miembros fundadores de esta Academia, y promotor en este siglo de la publicación de la Flora de la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada, se aprovechó la conmemoración del segundo centenario del nacimiento de José Celestino Mutis, para interesar tanto a las autoridades de Colombia, como a las de España en el rescate y la publicación de los trabajos realizados por la Expedición Botánica. Con ocasión de tal conmemoración se realizaron numerosos actos en ambos países. En ellos participaron en gran medida Pérez Arbeláez, gestor de la conmemoración, y José Joaquín Casas, por entonces embajador de Colombia en Madrid, ciudad en la que el humanista y diplomático gozaba de amplio prestigio, especialmente entre los círculos intelectuales. Igualmente colaboraron el botánico catalán José Cuatrecasas, quien años más tarde se dedicaría con devoción al estudio de la

flora colombiana, y Don Francisco de las Barras de Aragón, representantes del gobierno de la República Española en los actos realizados en Colombia. El embajador Casas logró establecer la correspondencia entre las academias de historia de España y de Colombia, de la cual era miembro fundador, y al ser reorganizada la Academia de Ciencias en 1936, ésta se estableció como filial y correspondiente de la Real Academia Española de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, presidida entonces por el ingeniero Torres Quevedo. En el establecimiento de la Academia Colombiana de Ciencias, además de los nombrados, desempeñó un importante papel el doctor Jorge Álvarez Lleras, promotor de la idea y primer presidente de nuestra corporación.

Entre las funciones y de la Academia Colombiana de Ciencias figuraban la de recuperar para el país los materiales copiados por la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada y promover la publicación de la Flora de Mutis. Tales propósitos, se vieron trancos al estallar la guerra civil en España. Finalmente en 1952 se firmó un acuerdo bigubernamental que ha permitido, no sin altibajos, la publicación paulatina de la iconografía que nos legó la empresa que nos ha servido de base, y cuyos materiales hacen parte del patrimonio artístico y científico de España y de Colombia.

Las gestiones realizadas ante la Academia Española, permitieron que su presidente, el doctor Torres Quevedo, apadrinara la creación en Bogotá de un cuerpo científico correspondiente de la Academia de Madrid, el cual como bien sabemos, sirvió de núcleo para desarrollar en el país una institución que siguiendo las directrices de la Academia matriz española, se ha dedicado a la investigación científica y a su fomento en los campos de las ciencias exactas, físicas y naturales, a la vez que coopera en el mejoramiento de la docencia en estas ramas del conocimiento, y sirve como cuerpo consultivo del gobierno nacional.

El hecho afortunado de haber contado en la cabeza de las representaciones diplomáticas de ambas naciones con figuras destacadas de la cultura ha permitido el florecimiento de las actividades intelectuales, estrechándose permanentemente los vínculos de colaboración entre los pares académicos, vínculos que en esta oportunidad se ponen de manifiesto y nos permiten estrechar más aun los tradicionales lazos de amistad que nos unen en un pasado común, y que auguran un futuro fructífero en realizaciones. Gracias pues señor presidente por este amable gesto de entregar personalmente estos diplomas que nos enorgullecen, y que nos comprometen aun más en la calidad de nuestros estudios bajo los lemas de "*Pedes in terra ad sidera visum*" y "*Observación y cálculo*".



Aspecto de la Mesa Directiva durante la sesión del 11 de diciembre de 1998. De izquierda a derecha, Moisés Wasserman, Víctor Albis, Angel Martín Municio, Luis Eduardo Mora, Luis Cuesta, Santiago Díaz e Inés Bernal de Ramírez.

## POSESIÓN DE UN ACADÉMICO CORRESPONDIENTE

El pasado 28 de noviembre tomó posesión como académico correspondiente el Dr. John D. Lynch. Su discurso de ingreso se publica en el presente número (página 143). Por designación de la presidencia, el académico Santiago Díaz Piedrahita le dio la bienvenida con las siguientes palabras:

Tradicionalmente, en la Academia Colombiana de Ciencias ha sido motivo de regocijo el recibir en su seno nuevos miembros. La sesión que hoy realizamos no constituye una excepción, dado que es natural y benéfico en instituciones como la nuestra, que la nómina se incrementa y se renueva, y que los nuevos miembros enriquezcan a la Corporación, por ser cultores de diferentes disciplinas, y por utilizar nuevas tecnologías.

Y si bien la zoología cuenta en nuestro medio con una amplia tradición, es un hecho patente el de que los estudios sobre los anfibios colombianos han progresado en forma notoria en los últimos treinta años, como se puede ver en las colecciones científicas y como se aprecia en nuestra Revista y en otras publicaciones especializadas; a pesar de ello, falta completar el inventario de las especies, siendo una necesidad imperiosa la de realizar colecciones intensivas y emprender nuevos estudios destinados a esclarecer la evolución de las especies y a definir los procesos de especiación.

Mucho se habla, a todos los niveles, en relación con la diversidad biológica del país, y con frecuencia se citan cifras relativas al número de familias, géneros y especies que han sido registradas en nuestro territorio. Sabemos que estas cifras no son absolutas ni definitivas, y que tan solo sirven para realizar comparaciones, en algunos casos bastante especulativas. Para evitar las interpretaciones subjetivas y depurar la información, el único sistema válido es el de realizar estudios taxonómicos serios, que, a través de revisiones, permitan llegar a cifras más exactas y reales.

Cuando en 1970 apareció la revisión de Cochran y Goin titulada "The frogs of Colombia", no faltaron quienes creyeron que con este trabajo se había concluido el inventario de los anuros colombianos, que entonces sumaban 200 especies, y que este tema ya no era objeto de investigación. Por entonces, el profesor Pedro M. Ruiz trabajaba con empeño en consolidar una colección de anfibios en el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia. Había partido prácticamente de cero, porque de las colecciones realizadas por Emmett R. Dunn en la década de los años

cuarenta, tan solo se conservaba un frasco, en el cual el viejo investigador medía el alcohol para preservar los ejemplares por él recolectados. Hoy día, y sea este el momento de hacer un reconocimiento al siempre bien recordado profesor Ruiz, la citada colección de anfibios guarda debidamente clasificados más de 43.500 ejemplares; pero lo que es más importante, el número de especies de anfibios registradas para Colombia es hoy de 600, y entre los especímenes que guarda tal colección, figuran los ejemplares tipo de 130 de las especies, con las que se ha enriquecido la herpetofauna colombiana después de la aparición del libro antes mencionado; igualmente se conservan los parátipos y paratopótipos de 180 especies. En un lapso de treinta años, y como consecuencia del incremento de las colecciones y de las investigaciones, el número de especies se triplicó, quedando ampliamente demostrado que el inventario faunístico no está concluido, y que es urgente continuarlo ante la amenaza de destrucción de los bosques.

Sin duda, y en la medida en que se realicen nuevas colecciones, y se visiten localidades pobremente conocidas, o completamente desconocidas desde el punto de vista sistemático, aparecerán nuevas especies que aumentarán estas cifras y enriquecerán la diversidad biológica. Los herpetólogos que se ocupan de la fauna colombiana nos tienen acostumbrados a una frecuente descripción de novedades y entre esos herpetólogos, y en puesto destacado se encuentra el Dr. John D. Lynch, norteamericano de nacimiento, pero colombiano de corazón, vinculado a nuestro país, primero (y a lo largo de diez años), como profesor visitante, y más recientemente como profesor asociado de la Universidad Nacional.

El profesor Lynch se formó como investigador en la Universidad de Illinois, donde obtuvo el grado de Bachellor en 1964 y la maestría en 1965. Los estudios de doctorado los realizó en la Universidad de Kansas, obteniendo el título en 1969. Su amplia experiencia profesional la ha logrado en las universidades de Kansas y Nebraska, donde ha combinado la docencia con la investigación. Fruto de su incansable labor son veinte investigadores que ha contribuido a formar como tutor, y más de 200 artículos científicos, aparte de numerosísimas reseñas y publicaciones de indole divulgativa.

En lo que toca a la fauna de nuestro país, son 72 los artículos que sólo, o en colaboración con investigadores colombianos ha publicado. Para los lectores de nuestra Revista y de otras publicaciones especializadas, no es nada extraño el nombre del profesor Lynch, quien, en un

ámbito más pequeño, es también conocido por su afición a la comida criolla colombiana, y lo que resulta un tanto extraño, por su gusto musical alrededor de las melodías llamadas de carrilera o "carrangueras". Testimonio de ello son dos especies de ranas que llevan los epítetos "jorgevelozai" y "carrangerorum".

Para su posesión como miembro correspondiente, el Dr. Lynch ha escogido un tema bastante interesante, como es el de las pequeñas ranas del género *Eleutherodactylus*, y la geometría de su evolución y especiación en los Andes de Colombia. En este trabajo, y utilizando como ejemplo las abundantes especies de este género, nos explicará, en términos sencillos, como a través de los cladogramas es posible detectar formas de especiación, que difieren en relación con la distribución de las apomorfias y con la necesidad de cambios correlacionados con el hábitat. Con base en hipótesis cladísticas, disponibles para 65 especies, el Dr. Lynch ha establecido que la alopatria es dominante en un 94%, y que el proceso evolutivo no corresponde a cambios en el hábitat. Esta novedosa observación contradice la idea tan difundida, de que la fauna de las partes altas de las cordilleras, tiene su origen en la de las tierras bajas. Como nos lo mostrará el nuevo académico, los taxones de las partes altas de las cordilleras están

relacionados con otros taxones de tierras altas y no con los de las partes bajas. Pero dejemos que sea el propio autor quien sustente su hipótesis.

Pero antes de que le sea concedida la palabra para hacer su presentación, y con la venia de la presidencia, quiero darle la bienvenida a nuestra corporación. Dr. Lynch, en el seno de la Academia encontrará un lugar propicio para la presentación de ideas, la discusión, y la difusión del conocimiento científico. Es nuestra corporación una entidad científica sin ánimo de lucro, cuyos objetivos no son otros que los de fomentar y difundir la investigación en los campos de las ciencias exactas, físicas y naturales y cooperar en el mejoramiento de la docencia en estas ramas del conocimiento. Igualmente, y como órgano consultivo del gobierno, colabora con las entidades respectivas en la adecuada conservación y defensa del patrimonio científico nacional, y en especial de los elementos ambientales y de los recursos naturales. Por lo anterior, no dudo que usted se sentirá a gusto entre nosotros y que encontrará un ambiente propicio para continuar con entusiasmo sus estudios sobre la herpetofauna colombiana. Felicitaciones muy sinceras y muchos éxitos en su gestión académica.

## EMISIÓN POSTAL EN HOMENAJE A LAS ACADEMIAS COLOMBIANAS.

El pasado 15 de diciembre, el Ministerio de Comunicaciones a través de la Administración Postal Nacional lanzó una emisión de siete sellos postales dedicados a las academias colombianas. Con esta serie filatélica, aprobada por la Junta Directiva de la Adpostal en junio de 1997, se rinde un homenaje a las siete entidades creadas por ley de la República, y que sirven como órganos consultivos del gobierno nacional, a la vez que hacen parte del Colegio Máximo de las academias de Colombia.

Fue propósito de la Administración Postal el de hacer un reconocimiento a las academias Colombiana de la Lengua, Nacional de Medicina, Colombiana de Jurisprudencia, Colombiana de Historia, Colombiana de

Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colombiana de Ciencias Económicas y Colombiana de Historia Eclesiástica, instituciones que por su labor en los diferentes campos del saber han servido a la Nación como fuente de sabiduría y progreso en las diferentes disciplinas intelectuales.

Quedan registradas en la historia filatélica de Colombia el reconocimiento y gratitud del país a sus academias, mediante la emisión de 700.000 sellos con valor facial de \$500, los cuales están destinados al servicio nacional: su tamaño es de 3 x 4 cm, la impresión fue hecha policromía mediante la técnica offset y se distribuyen en pliegos de ocho unidades. Los sobres destinados al primer día de circulación fueron 3200.