

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

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XXIV

DICIEMBRE DE 2000

NUMERO 93

DIRECTOR DE LA REVISTA: SANTIAGO DIAZ-PIEDRAHITA



## CONTENIDO - CONTENTS

Pág.	Pág.
<b>Antropología (Anthropology)</b>	
Mito y consistencia, lógica (Myth and consistency). <i>Guillermo Páramo Rocha</i> .....	477
<b>Botánica (Botany)</b>	
Desmidias (Zygnemaphyceae) de un pequeño tributario del río Amazonas en Colombia (Desmids (Zygnemaphyceae) from a Creek of the Amazon river in Colombia) <i>Marcela Nuñez Avellaneda &amp; Santiago R. Duque</i> .....	493
Revalidación de <i>Ruagea tomentosa</i> Cuatr. (Meliaceae). (Revalidation of <i>Ruagea tomentosa</i> Cuatr. (Meliaceae). <i>María Eugenia Morales-Puentes</i> .....	499
<b>Ciencias de la Tierra (Earth Sciences)</b>	
Perfiles verticales de temperatura en una atmósfera semigris con una capa de nubes. (Vertical temperature profiles in a half-gray atmosphere with cloud cover). <i>Joaquín Pelkowski &amp; Juan Carlos Anduckia Avila</i> .....	505
<b>Física (Physics)</b>	
Una ecuación integral para el estudio de colisiones inelásticas. (An integrated equation for classic and quantum dynamics). <i>Héctor R. Maya &amp; Diógenes Campos</i> .....	521
Un método para unir las dinámicas clásica y cuántica. (A method to unify classic and quantum dynamics). <i>Luis Sandoval &amp; Diógenes Campos</i> .....	529
<b>Historia y Filosofía de la Ciencia (History and Philosophy of Science)</b>	
Kant, Frege, Hilbert and the source of Geometrical knowledge (Kant, Frege, Hilbert y las fuentes del conocimiento geométrico). <i>Mario Laserna</i> .....	535
Historia del desarrollo y la recepción de las ideas panbiogeográficas de Léon Croizat. (History of the development and the reception of the ideas of panbiogeography of Léon Croizat) <i>Jorge Lorente, Juan J. Morrone, Alfredo Bueno, Roger Pérez-Hernández, Angel Viloria &amp; David Espinosa</i> .....	549
<b>Zoología (Zoology)</b>	
Lista preliminar de especies de anuros del departamento del Guainía, Colombia. (Preliminary list of frog species of the Departamento del Guainía, Colombia). <i>John D. Lynch &amp; Mario A. Vargas Ramírez</i> .....	579
Clave para la identificación de los géneros y especies phanaeinas (Coleoptera:Scarabaeidae: Coprinae: Phanaeini) de Colombia (A key to the identification of the phanaeine genera and species (Coleoptera:Scarabaeidae: Coprinae: Phanaeini) from Colombia <i>Adriana Vitolo - L.</i> .....	591
<b>Vida Académica (Academic Life)</b> .....	603
<b>Índice general del volumen XXIV, Año 2000.</b> (General Index of volume XXIV).....	609
<b>Índice de autores (Author index)</b> .....	611
<b>Constitución de la Academia</b> (Members of the Academy).....	612

# MITO Y CONSISTENCIA LÓGICA

por

Guillermo Páramo Rocha<sup>1</sup>

## Resumen

**Páramo Rocha G.:** Mito y consistencia lógica. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 24(93): 477-492. 2000. ISSN 0370-3908.

Este artículo comienza con una corta presentación de las perspectivas dominantes en la teoría antropológica con respecto de la lógica de los mitos. Luego plantea que, a pesar de la oposición polar entre teorías que asumen a los mitos como si fueran inconsistentes y las que los asumen como si fueran estrictamente consistentes, en muchos casos pasajes inconsistentes pueden hallarse al lado de pasajes consistentes en un mismo texto mítico. Sin embargo, la distinción entre uno y otro caso dista mucho de ser evidente. El asunto se discute sobre la base del estudio de algunos ejemplos procedentes de las mitologías griega y latina.

**Palabras clave:** Mito, lógica paraconsistente, consistencia lógica, teoría antropológica.

## Abstract

This paper starts with a short overview of the dominant perspectives of theoretical anthropology toward the problem of the logic of myths. Then, it is claimed that, in spite of the polar opposition between theories that approach myths as if they were necessarily inconsistent, and theories that approach myths as if they were necessarily consistent, in many cases inconsistent passages could be found next to consistent passages in the same mythical text. However, the distinction between both cases is far from being always evident. The discussion is grounded in the study of some examples coming from Greek and Latin mythology.

**Key words:** Myth, paraconsistent logic, logical consistency, anthropological theories.

1. Departamento de Antropología, Universidad Nacional de Colombia.

Al hablar de la traducción de los lenguajes naturales a la lógica proposicional, WILLARD VAN ORMAN QUINE se pregunta en su libro *Palabra y objeto* qué criterio es preferible en el caso de encontrarse un investigador con nativos que parezcan aceptar sentencias contradictorias de la forma  $p \& \sim p$ : si hacer una traducción que les haga hablar tan estúpidamente como se desee, o una perfeccionista que elimine sus contradicciones y les imponga nuestra lógica. En una nota (pp. 71-2, N. 1), QUINE también ofrece un paradigma de respuestas extremas a tales incógnitas y menciona a tres antropólogos: a BRONISLAW MALINOWSKI, EDMUND LEACH y a LUCIEN LÉVY-BRUHL.

Las obras de estos tres autores parecen ser especialmente reveladoras, en efecto, de las actitudes dominantes en etnología cuando se plantea el problema de cómo valorar las inconsistencias en las narraciones procedentes de otros medios culturales. MALINOWSKI prefiere la hipótesis de la coherencia y, en sus trabajos de campo, decide "revisar con los nativos [la información etnográfica] y eliminar todas las contradicciones", como nos cuenta, a propósito de su indagación sobre los sistemas de cómputo del tiempo en las islas Trobriand, en *Coral Gardens and their Magic* (1978: 463-4)<sup>2</sup>. Al contrario, LÉVY-BRUHL defiende la tesis de que el pensamiento "primitivo" es "prelógico" y de que los mitos son "fluidos", pues en ellos puede ocurrir cualquier cosa, ya que en los mitos la emoción reemplaza a la lógica y hace imperceptibles las inconsistencias (1978: 12-13; cf. 1926; 1972); según él, el mito es por naturaleza autocontradictorio (cf. *ibid passim*). MALINOWSKI, por su lado, evita la distinción entre "civilizados" y "primitivos" y, en vez del concepto de "prelógica", hoy desacreditado, utiliza el de "pseudológica" o "mito-lógica de los comportamientos expresivos", pero sostiene con

LÉVY-BRUHL que los mitos son esencialmente inconsistentes (1954, 1969, 1979) e implica que el mito se refiere siempre a lo sobrenatural.

Empero, a pesar de los argumentos de estas y de otras influyentes teorías sobre la lógica de los mitos, no puede darse por supuesta la coherencia o consistencia -posibilidad lógica- ni la inconsistencia -imposibilidad lógica- de una narración<sup>3</sup>, aunque ésta sea evidentemente "mítica" para todos aquellos que la conocen. En nuestra opinión, si se examina el asunto desde el punto de vista de la ciencia lógica<sup>4</sup>, en un mismo relato pueden estar mezclados pasajes consistentes y pasajes inconsistentes.

En el *Libro de los seres imaginarios*, JORGE LUIS BORGES habla de unos curiosos animales de la "mitología de los hacheros de Wisconsin y de Minnesota": "el *Goofus Bird*, pájaro que construye el nido al revés y vuela para atrás, porque no le importa adónde va, sino dónde estuvo" y "el *Goofang*, que nada para atrás para que no se le meta el agua a los ojos y «es del tamaño exacto del pez rueda, pero mucho más grande»" (1985: 96). El relato de BORGES es una especie de ultraficción; una fantasía sobre la existencia de una fantasía. No obstante, se descubre una diferencia básica entre los seres a que alude: el *Goofus Bird* pudiera haber en el bestiario de algún mundo posible; es, a pesar de su comportamiento, accesible a nuestra lógica. Hasta

<sup>3</sup>En la lógica clásica, *consistencia* y *coherencia* de una teoría  $T$  tienen el mismo significado y así manejaremos esos conceptos por ahora. Sin embargo, dentro de la *lógica minimal* -en la cual ni el 'principio de Scoto' ( $(A \& \sim A) \supset B$ ) ni el de 'tercio excluso' ( $AV \sim A$ ) son premisas- se ha establecido una distinción entre *coherencia*, o ausencia de tesis contradictorias en  $T$ , y *consistencia*, o no-trivialidad de  $T$ . Para los efectos de este trabajo, nosotros, más adelante, encontramos útil aplicar esa distinción conceptual de la lógica minimal como forma de evitar ambigüedades y complicaciones terminológicas, aunque, como se verá, lo que nosotros proponemos es apenas la aplicación de sistemas lógicos *paraconsistentes* y no minimales a la interpretación de la lógica particular de los mitos. Los autores que han introducido las principales teorías *paraconsistentes* -las cuales dejan de incluir sólo el principio de Scoto (véase *infra*)- hablan más bien, de *paradojas formales*, o derivabilidad de tesis contradictorias en  $T$ , y de *antinomias formales*, o prueba metalógica de trivialidad de  $T$ , pero continúan empleando el término *inconsistencia* de  $T$  (exactamente,  $\sim$ inconsistencia de  $T$ ) para referirse al hecho de que en  $T$  haya al menos una fórmula  $A$  junto con su negación,  $\sim A$  (ARRUDA 1980: 2-3).

<sup>4</sup>Para evitar ambigüedades de significado, cuando lo consideremos necesario hablaremos de 'ciencia lógica' y no meramente de 'lógica', al referirnos al lenguaje y al corpus de teorías desarrolladas por los estudiosos de la lógica.

<sup>2</sup>He aquí lo que dice MALINOWSKI: Note 1. -*Chart of the Reckoning* (Ch. I, Sec. 1) The method by which this chart has been arrived at is important in the assessment of its value and its inadequacies. This chart is the result of computing a great number of chronological entries in my field-notes. Most, though unfortunately not all, of my observations are dated exactly. Towards the end of my work this was done consistently. From this computation I was able to arrange events in their chronological sequence and put them into their proper place in every column. *Had this work been done in the field, as was the case with other synoptic instruments of research, I could have checked them with native informants and eliminated all contradictions.* As it is, I have to register several points on which my entries contradict one another, and on which I could not arrive at a decisive solution (1978: Vol. 1, 462-3. Subrayado nuestro).

ahora –que sepamos– no se ha capturado a ningún *Goofus Bird*, pero, por qué no, pudiera ocurrir que un día, algún paciente y bien equipado observador de aves llegara a filmar en los pinares de Misquah Hills (Minnesota) un pájaro con tan peculiar manera de volar y tan singulares preocupaciones. De todas maneras, un ser así cabe cómodamente en los mundos de WALT DISNEY, y a esos mundos –mundos que, entonces, son mundos posibles– viajamos de vacaciones frecuentemente a través de la televisión y del cine. Inclusive, si hubiera razones de índole biológica o aún físico que impidieran la existencia de un ser así, la imposibilidad (no-factibilidad) del pájaro sería de orden fáctico, biológico o físico, aunque no lógico; su falsedad sería material mas no formal, pues nada existe en el significado de ‘pájaro’ que sea inconsistente con volar de para atrás, preocuparse por saber de dónde viene y no a dónde va ni con construir sus nidos al revés. El *Goofus Bird* es un bicho raro, pero posible<sup>5</sup> y consistente desde el punto de vista de la lógica<sup>6</sup>.

La pareja del *Goofang* y el pez rueda es, mientras tanto, inconsistente, lógicamente imposible, necesariamente falsa<sup>7</sup>, no por los gustos del *Goofang*, ni por su manera de nadar, sino, claro, por su tamaño en relación con el del pez rueda. Ser “del tamaño exacto del pez rueda” es formalmente incompatible con ser “mucho más grande” que él. La “descripción” del tamaño de esos dos seres en realidad no describe nada. Jamás peces con tales dimensiones podrían ser atisbados juntos por el observador más osado y paciente del equipo de COUSTEAU; ni dibujados por el mejor creador de dibujos animados; ni contemplados en el cine; ni vistos en la televisión<sup>8</sup>. Tampoco se podrá construir *ex profeso*

para ellos un mundo posible en el cual rijan las leyes de la lógica<sup>9</sup>. Ni siquiera podrían ser *imaginados* –así lo afirma el título de la obra de BORGES– si es que ‘imaginar’ tiene que ver con producir *imágenes* mentales o con *representarse* intelectualmente una cosa. Aunque el *Goofang* y el pez rueda se mencionen conjuntamente en el cuento del genial narrador argentino, constituyen un par contradictorio, lógicamente imposible; un par que es falso no sólo desde el punto de vista material sino también desde el formal<sup>10</sup>.

Pues bien, no es difícil encontrar en la literatura histórica y etnográfica casos de relatos míticos que, como en el caso del cuento de BORGES, mezclan la mención de seres, acontecimientos o situaciones lógicamente inconsistentes e imposibles con la mención de seres, acontecimientos o situaciones lógicamente consistentes y posibles. En esos casos, a menudo el texto mítico se muestra autocontradictorio cuando se le considera como un todo y, no obstante, tomado fragmentariamente, conserva plena capacidad asertórica de decir algo sobre el mundo. Como hemos tratado de demostrar en otro lugar (PÁRAMO 1989), la presencia de contradicciones en un texto mítico no trivializa necesariamente todo su contenido, aunque los pasajes inconsistentes del texto sean

---

de todas las leyes físicas y naturales” (LARRAYA 1961: 17). Empero, debe notarse que por más abiertos a la fantasía que estén los mundos creados por DISNEY o por otro animador, hay situaciones que se resisten a caber en ellos; tal la de la pareja *Goofang*-pez rueda. Así que hay situaciones absurdas que son más absurdas que otras; el absurdo lógico es el más absurdo de todos los absurdos. El término ‘absurdo’ se utiliza en el lenguaje ordinario sin hacer estas gradaciones, y por eso pudiera decirse que el *Goofus Bird* es absurdo, como son absurdos los elefantes que vuelan o aquellos animales que permiten que se les distienda, se les vuelva de revés o se les aplaste como a un acordeón, sin que ello impida que recuperen su forma para ser torturados indefinidamente en los *cartoons*. Pero el de ellos no es, estrictamente un absurdo lógico, sino apenas una inverosimilitud con respecto a “las leyes físicas y naturales”, para usar los términos del comentarista citado. El de los dibujos animados es un absurdo físico, o biológico, social, etc.; no un absurdo lógico que no podría ser representado en el cine. Todo absurdo lógico es también un absurdo físico y biológico, de la misma forma que, diríamos, todo absurdo físico es también un absurdo biológico, mas puede haber absurdos físicos que no son absurdos lógicos, y absurdos biológicos que no lo son desde el punto de vista físico. El del *Goofus Bird* sería principalmente un absurdo biológico –aunque los colibríes pueden volar hacia atrás– por aquello de las preocupaciones del pájaro. A no ser que el bicho ponga y mantenga sus huevos en los nidos que hace al revés (lo cual no es aclarado por BORGES); en ese caso, también pudiera ser absurdo físico, según la física a la que estamos acostumbrados.

<sup>9</sup>Cf. KRIPKE (1980: 18).

<sup>10</sup>El pasaje que simplemente describe los gustos y el estilo natoratorio del *Goofang* es tan lógicamente coherente como el que habla de las peculiaridades del *Goofus Bird*.

<sup>5</sup>Cf. p. ej. KRIPKE (1980: 18); cf. HINTIKKA (1963: 66).

<sup>6</sup>Para este punto cf. p. ej. CARNAP 1958: 173; STRAWSON 1967: 2-12; SUPPES 1966: 65; TARSKI 1968: 168.

<sup>7</sup>En realidad, este punto requiere una interpretación más rigurosa de los conceptos de inconsistencia y consistencia lógicas en su relación con los de posibilidad e imposibilidad lógicas dentro de un enfoque lógico paraconsistente. Aquí, sin embargo, pretendemos tan sólo facilitar algunas intuiciones básicas al respecto y, como hemos dicho, coincidiremos con la semántica de la lógica modal estándar, construida para la lógica clásica, en que el estado de cosas descrito por un conjunto consistente de asertos es *ipso facto* posible. Empero, advertimos que más adelante diferiremos de esa semántica por cuanto, como se verá, al adoptar una *lógica no clásica* más tolerante a la inconsistencia, no nos sentimos forzados a introducir la tesis de que el estado de cosas descrito por un conjunto inconsistente de asertos es *ipso facto* imposible (Cf. RESCHER & BRANDON 1980: 4).

<sup>8</sup>Del cine animado de WALT DISNEY ha dicho un comentarista que hace “admitir al espectador, como real y lógico, hasta lo absurdo e irrazonable” y que en él aparecen “las formas y los sucesos más inverosímiles, los ensueños más disparatados, la conculcación

incapaces de enunciar. Si bien el sistema de la lógica clásica prohíbe estas situaciones (por el "principio de Scoto" o "pseudo-Scoto":  $(A \& \sim A) \supset B$ ), desarrollos recientes de la ciencia lógica, en especial la introducción de las llamadas lógicas paraconsistentes, permiten concebir la existencia de teorías con tales características<sup>11</sup>. Los resultados de trabajos relativamente recientes de investigación, en particular los de N. C. DA COSTA (cf.

<sup>11</sup>El *Principio de Scoto* (pseudo-Scoto) de la lógica clásica establece que si una teoría explícita o implícitamente contiene alguna inconsistencia, entonces también contiene toda tesis que sea expresable en el lenguaje en que se articula la teoría (a grandes rasgos, a partir de la premisa "Todos los gatos son pardos pero algunos no lo son" puede demostrarse "Yo existo", y "Yo no existo" y "Un elefante está leyendo este trabajo", etc.). Pero para asertar es necesario negar (afirmar que un gato es pardo es tanto como negar que ese gato es negro, y que es blanco, y que es azul o anaranjado): *omnis determinatio est negatio*— como reza el dictamen de SPINOZA. Luego, por el Principio de Scoto, las teorías inconsistentes son triviales, incapaces de afirmar algo con sentido, incapaces de asertar, pues afirman y niegan a la vez la verdad de cualquier cosa, de todo lo que puede decirse en el lenguaje particular en que están expresadas. Así que, aplicado un sistema lógico-clásico, si los relatos míticos incorporaran algún enunciado inconsistente debieran ser completamente inconsistentes y triviales.

No obstante, a la luz de enfoques como los de NEWTON DA COSTA, hay sistemas lógicos alternativos a la lógica clásica menos intolerantes a la contradicción, que serían, a nuestro juicio, probablemente más apropiados para interpretar el discurso de los mitos (y también el de la ciencia); tal es el caso de los sistemas lógicos paraconsistentes. Para notables lógicos del presente (cf. p. ej. ARRUDA 1980: 12), la antigua creencia en que los sistemas clásicos—con su Principio de Contradicción y su Principio de Scoto—son los únicos aplicables por la racionalidad científica es tan sólo un prejuicio—y cabría decir que un mito—llamado a ser desechado, como fue desechada hace apenas siglo y medio la creencia milenaria en la verdad absoluta y excluyente de la geometría euclidiana.

Específicamente, a propósito del mito, debo señalar que, luego de la publicación de mi trabajo "Lógica del mito, lógica paraconsistente" (1989) y de leído el presente ante la Academia Colombiana de Ciencias (1993), he tenido conocimiento de *El Uno y los Múltiples* (publicado en castellano en 1999), una bella obra de ERIK HORNING sobre la mitología egipcia en la cual se hacen consideraciones coincidentes con las que me atreví a proponer en esas oportunidades. En ella, además, se sugiere también la necesidad de trascender el sistema de la lógica clásica para acceder a la lógica particular de los mitos (HORNING 1999: esp. 218, ss.). HORNING sostiene que "el egipcio no percibe el mito como contradictorio" (p. 221), aun cuando de hecho lo sea para nuestra lógica. Sin ser un especialista en el Antiguo Egipto, ni muchísimo menos, tengo la impresión de que los egipcios no solamente notaban las contradicciones de sus mitos, sino que las cultivaban y desarrollaban. Salvo este punto que me parece discutible y el hecho de que HORNING proponga una lógica cuántica (p. 222) en vez de una paraconsistente, encuentro que *El Uno y los Múltiples* ofrece un ejemplo más de lo que sostengo en el artículo de 1989 antes citado y conduce al mismo planteamiento teórico de fondo.

p. ej. ARRUDA 1980; GRANA 1983) nos permiten hoy considerar estas opciones no-clásicas, que colocan sobre un nuevo terreno la cuestión de la capacidad asertórica de teorías autocontradictorias. Estos últimos sistemas harían lógicamente admisible la coexistencia en un mismo mito de pasajes del tipo *Goofus Bird* y pasajes del tipo *Goofang*.

En las páginas siguientes examinaremos el problema de perspicuidad que plantean dos ejemplos de relato que por sus propiedades lógicas parecen desbordar el sistema lógico-clásico.

\* \* \*

Los mitos pueden mezclar la mención de seres, acontecimientos o situaciones lógicamente incoherentes con la mención de seres, acontecimientos o situaciones coherentes y posibles. No es difícil encontrar en la literatura histórica y etnográfica casos de relatos que, sin dudarlo, calificaríamos de míticos y que, como el cuento de BORGES, parecen contener incoherencias al lado de descripciones que no son incoherentes, así estas últimas lleguen a veces a resultarnos fantásticas. En esos casos, a menudo el texto mítico se muestra autocontradictorio y, no obstante, tomado fragmentariamente, conserva plena capacidad asertórica de decir algo sobre el mundo.

Ese es el caso del mito de Proteo, tal cual se narra en el Canto IV de la *Odisea*. Aconsejados por la ninfa Idótea, hija de aquella divinidad, Menelao y tres de sus compañeros tienden una celada para atrapar al "infalible" Proteo, el "veraz anciano de los mares", quien conoce el pasado, el presente y el futuro, y es el guardián de los rebaños de focas de Poseidón (IV, 383-90). Desean que les cuente cómo regresar a su patria y cuál es el dios que los detiene, pues han permanecido en la isla de Faro durante veinte días sin poder zarpar por la falta de vientos favorables, y ya desfallece su ánimo y están acosados por el hambre. Requieren de la celada porque el viejo puede transformarse a voluntad en cualquier cosa, y porque "es duro de vencer cualquier dios por un hombre mortal" (IV, 395). Entonces, ayudados por la ninfa, se cubren con pieles de focas recién desolladas. Para soportar el hedor de los animales, Idótea les pone en las narices un poquito de ambrosía. Esperan desde la aurora a que el dios marino llegue a contar su rebaño y a dormir en medio de él, como acostumbra a hacerlo los pastores. Y cuenta Menelao:

«Por la siesta surgió de las aguas el viejo:  
a la vista de sus focas robustas se puso a  
contarlas pasando por mitad y empezó por

nosotros, ajeno en su alma del engaño tramado, y al fin acostose entre ellas. Dando gritos saltamos entonces los cuatro y las manos le lanzamos encima. No puso el anciano en olvido sus ardides: cambiose primero en león melenudo, en serpiente después, en leopardo y en cerdo gigante, luego de ello en corriente de agua y en árbol frondoso. Sin respiro apretábamos todos con ánimo entero y, rendido por fin el anciano perito en intrigas maliciosas, volviéndose a mí preguntó de este modo:

‘¿Qué deidad te ha ayudado a tramar, oh retoño de Atreo, tal celada que así me has cogido? ¿Qué buscas con ello?’

De este modo me habló; yo a mi vez contestándole dije:

‘Bien lo sabes, ¡oh anciano! ¿A qué estas fingidas preguntas?’

Encerrado hace tiempo en la isla no veo ningún medio de salir; consumiéndose va el corazón en mi pecho; mas explícate y dime, pues todo lo saben los dioses, cuál de éstos aquí me retiene cortando mi ruta y mi vuelta al hogar sobre el mar rico en peces’. Tal dije y el anciano del mar al momento me dio la respuesta» (IV, 450-471)<sup>12</sup>.

<sup>12</sup>He aquí otras traducciones, además de la de Gredos que es la que seguimos en este escrito:

«...Enfin, voici midi: le Veillard sort du flot. Quand il a retrouvé ses phoques rebondis, il les passe en revue: cinq par cinq, il les compte, et c'est nous qu'en premier, il dénombre, sans rien soupçonner de la ruse...Il se couche à son tour. Alors, avec des cris, nous nous précipitons; toutes nos mains l'étreignent. Mais le Vieux n'oublie rien des ruses de son art. Ils se change d'abord en lion à crinière, puis il devient dragon, panthère ou porc géant; ils se fait eau courante et gran arbre à panache. Nous, sans mollir, nous le tenons; rien ne nous lasse, et, quand il est au bout de toutes ses magies, le voici qui me parle, à moi et m'interroge:

Prothée.- De quel dieu, fils d'Atrée, suivis-tu le conseil pour me forcer ainsi et me prendre en ce piège? Que veux-tu maintenant?

«A ses mots, de Prothée, aussitôt je répons:

Ménélas.- Tu le sais bien, Veillard! pourquoi tous ces détours? Viols combien de jours que je suis dans cette île, captif et sans trouver le moyen d'en sortir; déjà mon cœur faiblit; ... Ah! dis-moi, puisque les Immortels savent tout, lequel des dieux m'entrave et me ferme la route (*Odyssée*, IV. V. BÉRARD (tr.). Paris: Le livre de poche. 1960).

«...till at noon the old man of the sea came up, ... and when he had found his fat seals he went over them and counted them. We were among the first he counted, and he never suspected any guile. (...)

...the cunning old creature became distressed, and said, «Which of the gods was it, son of Atreus, that hatched this plot with you for snaring me and seising me against my will? What

¿Qué tenemos, pues, aquí? De una parte, Proteo, el “veraz anciano”, pretende engañar a Menelao insinuando que desconoce sus inquietudes. De otra parte, el dios que “lo sabe todo”, que en palabras de Idótea “conoce las honduras de todo el mar”, es engañado por Menelao (“ajeno en su alma del engaño tramado”) y esto es solamente posible en el caso de que ignore lo que se oculta bajo las mismas pieles de las focas de su rebaño marino, cuyo cuidado está en el fundamento de su divina misión. Mas, en la mitología griega, esa capacidad de adivinar, de saberlo todo, que le señala al dios la *Odisea* no es un atributo secundario, sino principal en la figura de Proteo, quien es “infalible”; un atributo tan importante como el poder de transformarse en cualquier cosa a voluntad —que se asociaría perennemente a su nombre— e inseparable de éste, pues si se tiene esa facultad para cambiar las cosas se sabe también de dónde vienen, qué son y para dónde van. Una invocación órfica del período imperial dice por ejemplo:

*Invoco a Proteo, dueño de los controles del mar, Primigenio, que desveló los principios de toda naturaleza, transformando la sagrada materia en apariencias multiformes, venerando, prudentísimo, conocedor del presente, del pasado y del futuro, por que él mismo lo posee todo y lo transforma, y ninguno de los otros inmortales que habitan la sede del nevado Olimpo, el mar, la tierra, o vuelan por el aire, lo hace. Pues la naturaleza inicial lo confió todo a Proteo... (Himno órfico XXV. Subrayados nuestros).*

El pasaje de la *Odisea* es contradictorio: Proteo pretende engañar a Menelao al actuar como si no conociera la intimidación de sus pensamientos. Pero si pretende engañarlo, el dios marino no es el “veraz anciano” de quien habla Idótea. Supongamos que sí es el veraz anciano y que no pretende engañar a Menelao; en tal caso, entonces, efectivamente desconoce sus pensamientos y en verdad ha caído en la celada. Mas, si ha caído en la celada, “sin que en su corazón sospechase el engaño”, como dice el relato, entonces no “lo sabe todo” y la celada carece de sentido, pues el dios no es omnisciente, y la

do you want?»

«You know that yourself, old man», I answered. «You will gain nothing by trying to put me off. (...) ... tell me, ... for you gods know everything, which of the immortals it is that is hindering me, and tell me also how I may sail the sea so as to reach my home?» (*The Odyssey*, IV. S. BUTLER (tr.) New York: Washington Square Press. 1964).

celada ha sido para capturar al dios porque "lo sabe todo". Así, se relata una historia que se destruye a sí misma. Recíprocamente, si el viejo conoce el pensamiento de Menelao, entonces no es veraz, ya que ha pretendido engañarlo fingiendo que no lo conocía hasta el punto de haber actuado como si hubiera sido sorprendido por su argucia y tratase de escapar. El pasaje de Proteo y Menelao tiene una forma contradictoria; diríamos que Proteo, en lo que se refiere a *saber e ignorar y a engañar y a ser veraz*, es una entidad mítica del tipo *Goofang*.

La anómala situación se reitera en otra versión del mito: en las *Geórgicas*, Aristeo, quien ha perdido todas sus abejas como consecuencia de una venganza de las ninfas por haber sido la causa de la muerte de Eurídice, se vale, por consejos de su madre Cirene, de similares procedimientos a los de Menelao para establecer la razón de la calamidad sufrida y la manera de repararla. Dice Cirene a su hijo:

*En el abismo carpático de Neptuno hay un adivino, el azulado Proteo, que recorre el piélago inmenso con peces y con un carro uncido de bípedos caballos. A la sazón visita éste los puertos de la Emantia y su patria, Palene; a éste nosotras, las Ninfas, también lo veneramos y el mismo anciano Nereo; pues todo lo conoce el vate, el presente, lo que ya pasó y lo que el futuro ha de traer después. Pues tal fue el agrado de Neptuno, cuyos monstruoso rebaños y horribles focas bajo el abismo Proteo pastorea... (IV, 387-396)<sup>13</sup>*

En este caso, la ninfa, luego de envolver el cuerpo de su hijo con el perfume de la ambrosía, lo esconde en la oscuridad de una caverna donde Proteo acostumbra tomar su siesta, mientras ella, a la distancia, se cubre de niebla (IV, 417-23). Cuando Aristeo, después de abalanzarse sobre Proteo y atraparlo, consigue que éste ceda a pesar de sus sucesivas transformaciones, el viejo le pregunta: "¿Quién a ti, el más confiado de los jóvenes... te ordenó llegar a mi guarida?" y el otro le responde: "Tú lo sabes, Proteo, tú mismo lo sabes, pues no es posible que en nada se te engañe; más tú deja de querer burlarme. Siguiendo los preceptos de los dioses venimos

a buscar de ti un oráculo a nuestros males" (IV, 445-450)<sup>14</sup>.

El Proteo de HOMERO y de VIRGILIO es contradictorio en su capacidad de adivinar y de decir la verdad, o sea, en lo atinente a aquella calidad que parece ser fundamental para el sentido de las historias de Menelao y Aristeo: el propósito de esas historias es contar que el dios lo adivina todo, pero también, contradictoriamente, que los héroes logran engañarlo para poder aprovechar esa capacidad suya de adivinarlo todo; así mismo los relatos buscan pintar a Proteo como a un oráculo de la verdad, mas al hacerlo, contradictoriamente introducen una situación en la cual éste aparece haciendo el intento de engañar. En este punto, los dos son pasajes del tipo *Goofang*.

Empero, la incoherencia no compromete la generalidad del contenido de los episodios citados de las *Geórgicas* y la *Odisea*; las dos nos pintan con vigorosos trazos de color, forma y movimiento, la imagen y actitud de aquel viejo del mar. Además, el trozo de la *Odisea* a que aludimos da cuenta de que:

*Una isla hay... que rodean las olas sin cuento; Faros lleva por nombre y está frente a Egipto, a distancia tal que en una jornada salvará un bajel si por suerte a soplarle de popa viniese la brisa silbante. (IV, 334-37)*

Y Faro, como puede verse en *Helena* de EURÍPIDES, sería considerada el hogar de Proteo: "Proteo, mientras vivía, fue señor de la tierra [de Egipto], radicado en Faro" (1-5). En esa isla, en efecto, se habría de construir el gran faro de Alejandría, el cual, a partir del relato de la *Odisea*, sería dedicado por el arquitecto y político SÓSTRATO DE CNIDO precisamente al viejo adivino:

*Al vigía de Faros alzó, soberano Proteo, Sóstrato el de Dexífanos, el cnidio, en defensa de los Helenos; pues no hay atalayas ni montes en Egipto y el puerto se halla en una llanura. (POSIDIPO, en Antología Palatina, Vol. I, §254).*

Y nos cuenta también el pasaje de HOMERO que Faro "tiene un puerto excelente para fondear" y un "manantial profundo", del cual las naves toman el agua potable. Señala que, para quienes compusieron la historia de la

<sup>13</sup>...cæruleus Proteus, ... hunc et Nynphæ veneramur et ipse grandævus Nereus: novit namque omnia vates, quæ sint, quæ fuerint, quæ mox ventura trahantur; quippe ita Neptuno visum est, immania cuius armenta et turpis pascit sub gurgite phocas (*The Eloges and Georgics of Virgil*. Garden City, N. Y.: Anchor Books. 1964). (No seguimos la versión inglesa).

<sup>14</sup>"nam quis te, iuvenum confidentissime, nostras iussit adire domos? quidve hinc petis?" inquit. at ille: 'scis, Proteu, scis ipse; neque est te fallere quicquam: sed tu desine velle. deum precepta secuti venimus inc lapsis quæsitum oracula rebus'.



celada de Menelao, el mundo tiene confines: Proteo le dice a Menelao que habrá de ser enviado por los inmortales a los "Campos Elíseos, al fin de las tierras"; y, luego, describe un paraíso:

... donde está Radamantis de blondo cabello y la vida se le hace a los hombres más dulce y feliz, pues no hay allá nieve ni es largo el invierno ni mucha la lluvia y el océano les manda sin pausa los soplos sonoros de un poniente suave que anima y recrea (*Odisea* IV, 63-68).

Con estas frases, y al señalar lo de la calma chicha de veinte días, el pasaje también implica la descripción de un clima de la región, una meteorología y el comportamiento de los hombres ante ellos. Adicionalmente, menciona las costumbres de los pastores y su manera de contar —de cinco en cinco— los animales de sus rebaños<sup>15</sup>. Nos habla de una fauna de leones, dragones, jabalíes y panteras; de focas en el Mediterráneo, y hasta de los hábitos y los olores de esos pinnípedos<sup>16</sup>. En fin, llama al mar "alborotado" y "en peces abundoso", "azul" a Proteo y "sonoro" al viento.

Por su lado, el pasaje de las *Geórgicas*, con la respuesta de Proteo a las inquietudes de Aristeo, da cuenta de la historia de Orfeo y Euridice; de cómo es el terrible Erebo, a donde viaja Orfeo en busca de su amada. Describe al inframundo donde el "temor cuelga como una negra neblina"; a sus habitantes y señores: Proserpina; las Euménides en cuyas cabelleras hay serpientes azulosas; Cerbero con sus tres fauces; los cuerpos de los guerreros muertos, de los niños y las doncellas inuptas puestos sobre piras funerarias a la vista de sus padres. Habla del paisaje infernal: del negro limo y los retorcidos cañales del Cócito; de las nueve circunvoluciones del Estige; de los truenos sobre los pantanos del Averno. E informa de la geografía del mundo que recorre Orfeo llorando su desgracia: el hielo ártico, el nevado Tánais, las nieves sobre la gélida meseta Rifea.

El mito, inclusive, ofrece con las palabras de Cirene una fórmula para recuperar las pérdidas abejas: sacrificar cuatro toros jóvenes y otras tantas terneras que

<sup>15</sup>Véase la cita de la traducción francesa de la nota 8. La cuenta de cinco en cinco es omitida en la traducción española.

<sup>16</sup>El olor de las focas parece haber sido particularmente detestable a la nariz de los griegos. En la *Alejandro* de LICOFRÓN, el poeta llama a las focas "fétidas fieras" (§849), mientras que en la paráfrasis del texto se lee: "llegará Menelao a Egipto ... y se tumbará en la playa, cubierto con piel de foca y soportando el hedor de esos animales" (§§525-28).

no hayan sufrido el yugo; por entre sus costillas, a la novena aurora, habrán de salir bullendo de la carroña enjambres de los valiosos insectos (*Geórgicas* IV, 537-557)<sup>17</sup>. Esa fórmula llegaría a ser aplicada —diríamos que tecnológicamente— en la región circunmediterránea; aparecería en los epigramas helénicos<sup>18</sup> y sería repetida entre otros por OVIDIO (*Fastos* I, 379-381)<sup>19</sup>, PORFIRIO (*Antro de las ninfas* 18)<sup>20</sup> y CLAUDIO ELIANO (*Historia de los animales* II, 57)<sup>21</sup>. Todavía en el siglo VII, SAN ISIDORO DE SEVILLA habría de escribir lo siguiente en sus *Etimologías*:

Muchos pretenden que las abejas nacen de los cadáveres de los bueyes: para lograr este nacimiento se golpean las carnes de los becerros sacrificados con el fin de que de la carne putrefacta nazcan unos gusanos que más tarde se convertirán en abejas. El nombre de abejas se aplica en su sentido propio a las que tiene su origen en los bueyes (XII, 8, 2; cf. XI, 4, 3).

La creencia, que venía por lo menos desde ARISTÓTELES, se mantendría por muchos siglos. Por la época en que FRANCESCO REDI (1626-98) experimentaba para demostrar que la generación de los insectos no podía ocurrir como decía la fórmula de las *Geórgicas*, un holandés, JAN JACOBZ SWAMMERDAM (1637-69), señalaba que la leyenda se debía a una confusión y que lo que se veía surgir de la carroña de los bueyes eran moscas y no abejas; empero, pasarían todavía dos siglos antes de que el Barón OSTEN-SACKEN mostrara que, en efecto, el díptero hoy conocido como *Eristalis tenax* era el responsable del engaño. El *Eristalis*<sup>22</sup>, que se alimenta de los líquidos de los cadáveres y de otras sustancias pútridas, puede ser abundante en torno de un animal que lleva un cierto tiempo en descomposición; sin embargo, es activo

<sup>17</sup>Cf. *Georg.* IV, 295-315.

<sup>18</sup>Un epigrama de ERCIO reza: "que eternamente racimos de abejas, hijas del toro, afluyan alrededor de tu tumba" (*Antología palatina*, ERCIO 36, 3).

<sup>19</sup>Refiriéndose a Aristeo: "El pastor ejecuta la orden; el buey podrido es un hervidero de enjambres".

<sup>20</sup>"...los antiguos... a la luna, que preside la generación, la llamaban «abeja», entre otras razones porque la luna es Toro y la exaltación de la luna es el Toro, y las abejas son producto de la vaca".

<sup>21</sup>"Los bueyes son serviciales en todo...Incluso cuando muere, el buey es una criatura digna de todo nuestro aprecio, pues de los despojos de aquel nacen abejas, las más industriosas de las criaturas, las cuales fabrican el mejor y más dulce fruto que existe entre los hombres: la miel".

<sup>22</sup>*Drone-fly*. Subfamilia *Eristalinae* (IMMS 1947: 203, 237 cf. ROSE 1964: 144).



a la luz del sol, liba las flores junto con las abejas y, para el ojo no experto, es prácticamente indistinguible de éstas por su forma, color y tamaño, tanto en estado adulto como en el de imago (IMMS 1947: 203. IIs. Plate 23, 8,9. p. 126). De esta manera, el pasaje de Proteo en las *Geórgicas* transmitía una información que hoy se califica de falsa o fabulosa, pero que en su momento se consideró verdadera, y que, en cualquier caso, hace parte de la historia de las teorías sobre la generación de los insectos en la cultura occidental.

Y todos estos enunciados, los atinentes al viento y al mar; a la isla de Faro y a su puerto; al Hades y a los Campos Elíseos; a Orfeo y a Eurídice; a las abejas y a las focas; a las costumbres de los navegantes, de los pastores y de los apicultores; a la forma del mundo y las distancias que separan un lugar geográfico del otro, son —obviamente— coherentes; diríamos que pertenecen al tipo de los pasajes *Goofus Bird*. Eso, no obstante proceder de pasajes del tipo *Goofang*. También pertenecen al tipo *Goofus Bird* los retratos que hacen HOMERO y VIRGILIO de Menelao, Aristeo, Idótea, Cirene y sus descripciones de aquel viejo azulado que se tiende sobre la arena en medio de las focas, o se sumerge en el “alborotado” mar haciendo un remolino de espuma.

Pero, por sobre todo, en los fragmentos de la *Odisea* y las *Geórgicas*, la imagen de Proteo es del tipo *Goofus Bird* por cuanto el personaje, a partir de esos fragmentos, adquiere el carácter de un paradigma: del paradigma, inambiguo y consistente del ser capaz de cambiar a voluntad. El de Proteo es el mito de aquel que puede asumir cualquier forma; el mito que construye el concepto de lo que puede asumir cualquier forma: después de HOMERO y VIRGILIO, decir ‘Proteo’ o ‘proteico’ es referirse a una particular naturaleza; atribuir una precisa propiedad. La inconsistencia de las historias de Menelao y Aristeo no les impide transmitir el mito, y el mito, aquí, no sólo dice, sino que introduce el concepto que habrá de usarse para decir.

\* \* \*

Este caso representa apenas un ejemplo de cómo es posible la coexistencia de pasajes *Goofus Bird* y pasajes *Goofang*, pero pudieran ofrecerse muchos otros: como hemos tratado de mostrar en otro lugar (PÁRAMO 1989), los sistemas de pensamiento de una cultura pueden —y quizás deben— admitir un cierto grado de contradictoriedad ‘local’ sin perder su coherencia fundamental. Así, pues, en el material etnográfico pudieran estar mezclados pasajes *Goofus Bird* y pasajes *Goofang*. A veces las

diferencias entre una y otra clase prima facie lucen evidentes, empero, no hay razón para pensar que las cosas habrán de presentarse siempre bajo esa forma, ni tampoco que podemos siempre confiar en nuestra intuición e información cuando las cosas parecen simplemente ser así.

GEACH (1981: 279) ha distinguido entre inconsistencias patentes e inconsistencias latentes<sup>23</sup>. Cuando alguien dice: “el *Goofang* es del tamaño exacto del pez rueda, pero mucho más grande” incurre en una inconsistencia patente; es como si afirmara algo e inmediatamente pasara a cancelar lo dicho, negándolo: afirma que el *Goofang* es del tamaño exacto del pez rueda, pero que no lo es, y que es mucho más grande que éste, pero que no lo es. Resulta evidente que ese pasaje tienen la forma lógica de  $p \& \sim p$ .

No obstante, las contradicciones presentes en los mitos de Proteo, aunque fáciles de descubrir, ya no resultan así de evidentes: al menos no lo fueron para HERÁCLITO EL RETOR (PESUDO HERÁCLITO), un autor del siglo I que se propuso hacer una exégesis de las obras homéricas, principalmente para defender a su autor de las acusaciones de haber sido irrespetuoso con las divinidades, pero que también se ocupó de explicar las situaciones que pudieran parecer absurdas a los lectores no preparados. Aún cuando HERÁCLITO encontraba que el pasaje de Proteo y Menelao resultaba inverosímil si se tomaba en forma literal y, por eso, proponía para su comprensión varias alegorías, una mención de las contradicciones a que nos hemos referido —y en particular a la circunstancia de adivinarlo todo pero haber sido engañado— era omitida por completo en sus *Alegorías de Homero* (1989); éstas, sin embargo, discutían específicamente ese pasaje en tres distintos apartados (§§64, 66, 67). Solamente se subrayaba en ellas que el anciano era llamado “veraz”; empero la referencia se usaba apenas para extraer de ese término otra alegoría (§67, 1–4). HERÁCLITO calificaba las imágenes relatadas de “leyendas poéticas y fantásticas” (§64, 7); mas lo que hallaba fantástico eran cosas como la traición de Idótea, las transformaciones del anciano, o su desventurada condición de ser:

*habitante de una pequeña isla de Egipto que  
carga eternamente con su suplicio, con una*

<sup>23</sup>El uso que le da GEACH a esta distinción —establecida en el contexto de una crítica a STRAWSON y a propósito de un examen de la inferencia imperativa— es ligeramente diferente del que aquí le damos.

a la luz del sol, liba las flores junto con las abejas y, para el ojo no experto, es prácticamente indistinguible de éstas por su forma, color y tamaño, tanto en estado adulto como en el de imago (IMMS 1947: 203. IIs. Plate 23, 8,9. p. 126). De esta manera, el pasaje de Proteo en las *Geórgicas* transmitía una información que hoy se califica de falsa o fabulosa, pero que en su momento se consideró verdadera, y que, en cualquier caso, hace parte de la historia de las teorías sobre la generación de los insectos en la cultura occidental.

Y todos estos enunciados, los atinentes al viento y al mar; a la isla de Faro y a su puerto; al Hades y a los Campos Elíseos; a Orfeo y a Eurídice; a las abejas y a las focas; a las costumbres de los navegantes, de los pastores y de los apicultores; a la forma del mundo y las distancias que separan un lugar geográfico del otro, son —obviamente— coherentes; diríamos que pertenecen al tipo de los pasajes *Goofus Bird*. Eso, no obstante proceder de pasajes del tipo *Goofang*. También pertenecen al tipo *Goofus Bird* los retratos que hacen HOMERO y VIRGILIO de Menelao, Aristeo, Idótea, Cirene y sus descripciones de aquel viejo azulado que se tiende sobre la arena en medio de las focas, o se sumerge en el “alborotado” mar haciendo un remolino de espuma.

Pero, por sobre todo, en los fragmentos de la *Odisea* y las *Geórgicas*, la imagen de Proteo es del tipo *Goofus Bird* por cuanto el personaje, a partir de esos fragmentos, adquiere el carácter de un paradigma: del paradigma, inambiguo y consistente del ser capaz de cambiar a voluntad. El de Proteo es el mito de aquel que puede asumir cualquier forma; el mito que construye el concepto de lo que puede asumir cualquier forma: después de HOMERO y VIRGILIO, decir ‘Proteo’ o ‘proteico’ es referirse a una particular naturaleza; atribuir una precisa propiedad. La inconsistencia de las historias de Menelao y Aristeo no les impide transmitir el mito, y el mito, aquí, no sólo dice, sino que introduce el concepto que habrá de usarse para decir.

\* \* \*

Este caso representa apenas un ejemplo de cómo es posible la coexistencia de pasajes *Goofus Bird* y pasajes *Goofang*, pero pudieran ofrecerse muchos otros: como hemos tratado de mostrar en otro lugar (PÁRAMO 1989), los sistemas de pensamiento de una cultura pueden —y quizás deben— admitir un cierto grado de contradictoriedad ‘local’ sin perder su coherencia fundamental. Así, pues, en el material etnográfico pudieran estar mezclados pasajes *Goofus Bird* y pasajes *Goofang*. A veces las

diferencias entre una y otra clase prima facie lucen evidentes, empero, no hay razón para pensar que las cosas habrán de presentarse siempre bajo esa forma, ni tampoco que podemos siempre confiar en nuestra intuición e información cuando las cosas parecen simplemente ser así.

GEACH (1981: 279) ha distinguido entre inconsistencias patentes e inconsistencias latentes<sup>23</sup>. Cuando alguien dice: “el *Goofang* es del tamaño exacto del pez rueda, pero mucho más grande” incurre en una inconsistencia patente; es como si afirmara algo e inmediatamente pasara a cancelar lo dicho, negándolo: afirma que el *Goofang* es del tamaño exacto del pez rueda, pero que no lo es, y que es mucho más grande que éste, pero que no lo es. Resulta evidente que ese pasaje tienen la forma lógica de  $p \ \& \ \sim p$ .

No obstante, las contradicciones presentes en los mitos de Proteo, aunque fáciles de descubrir, ya no resultan así de evidentes: al menos no lo fueron para HERÁCLITO EL RETOR (PESUDO HERÁCLITO), un autor del siglo I que se propuso hacer una exégesis de las obras homéricas, principalmente para defender a su autor de las acusaciones de haber sido irrespetuoso con las divinidades, pero que también se ocupó de explicar las situaciones que pudieran parecer absurdas a los lectores no preparados. Aún cuando HERÁCLITO encontraba que el pasaje de Proteo y Menelao resultaba inverosímil si se tomaba en forma literal y, por eso, proponía para su comprensión varias alegorías, una mención de las contradicciones a que nos hemos referido —y en particular a la circunstancia de adivinarlo todo pero haber sido engañado— era omitida por completo en sus *Alegorías de Homero* (1989); éstas, sin embargo, discutían específicamente ese pasaje en tres distintos apartados (§§64, 66, 67). Solamente se subrayaba en ellas que el anciano era llamado “veraz”; empero la referencia se usaba apenas para extraer de ese término otra alegoría (§67, 1-4). HERÁCLITO calificaba las imágenes relatadas de “leyendas poéticas y fantásticas” (§64, 7); mas lo que hallaba fantástico eran cosas como la traición de Idótea, las transformaciones del anciano, o su desventurada condición de ser:

*habitante de una pequeña isla de Egipto que  
carga eternamente con su suplicio, con una*

<sup>23</sup>El uso que le da GEACH a esta distinción —establecida en el contexto de una crítica a STRAWSON y a propósito de un examen de la inferencia imperativa— es ligeramente diferente del que aquí le damos.

*vida repartida entre el mar y la tierra, teniendo que dormir, el desdichado, entre focas, para no poder ni siquiera disfrutar de sus momentos de reposo (Alegorías de Homero §64, 2)*

Todo lo cual podrá ser maravilloso o doloroso, pero, en manera alguna, lógicamente imposible.

Y puesto que las contradicciones aludidas no merecieron la atención de HERÁCLITO, tampoco, entonces, debieron merecer la de sus contemporáneos más cercanos, quienes, no obstante, sí se detuvieron en la consideración de tantas otras situaciones aparecidas en los mitos homéricos que calificaron sin ambages de absurdas y fantásticas. Si HERÁCLITO hubiera sabido que se daban esas contradicciones, las habría tenido en cuenta. Las tuvo en cuenta su contemporáneo OVIDIO al presentar la versión resumida del mito de Aristeo que relata en los *Fastos* (I, 363-381)? En OVIDIO, Proteo no pregunta como en VIRGILIO, “¿Quién te pidió acercarte a nuestra casa? ¿Qué deseas de mí?”, y tampoco el hijo de Cirene le responde “Tú lo sabes, Proteo; tú lo sabes muy bien, puesto que nada se te escapa”. El de los *Fastos* no es el viejo del mar que pretende engañar a Aristeo. Empero, sin que aparentemente lo note OVIDIO, es claro que sigue siendo el ser que todo lo conoce y que sin embargo es engañado por consejo de Cirene; es clara la alusión a las *Geórgicas*, aunque su relato sea tan lacónico (probablemente es lacónico por ser alusivo al narrado por VIRGILIO que debía ser muy conocido).

Para PLATÓN, el “veraz Proteo”, por su capacidad de asumir cualquier apariencia, era la figura del engaño, la imagen del sofista (*Eutidemo* 288 b); así también lo sería más tarde para SENESIO DE CIRENE (Dión 44 a, b); ARTEMIDORO diría en su Interpretación de los sueños que la aparición onírica del anciano y de los otros seres que lo acompañan “anuncian engaños y fraudes por la facilidad que tienen en cambiarse de aspecto” (II, 38), pero aunque engañoso, Proteo no parecía resultarle autocontradictorio a ninguno de esos autores. En el siglo II, LUCIANO DE SAMOSATA, cuya cáustica crítica de las proezas de los dioses homéricos habría de constituirse en modelo de imitación de los escépticos y librepensadores, y que en su Diálogo de los muertos ridiculizaba de manera implacable todo lo que consideraba absurdo y sin sentido de las viejas historias, en sus Diálogos marinos (IV) se ocupaba de la escena de Proteo y Menelao relatada en la *Odisea*. El pastor de Poseidón, que adivinaba todo pero se dejaba engañar por los cueros de

su ganado, representaba un blanco perfecto para la burla; sin embargo, con una indulgencia que por tratarse de él resulta del todo inverosímil, LUCIANO solamente se detenía, como HERÁCLITO, en la capacidad de transformarse que desplegaba el viejo marino en el episodio, y allí, inclusive, casi aceptaba la posibilidad del relato indicando que los pulpos cambiaban de color y de apariencia de acuerdo con la roca sobre la que se posan. Apenas el hecho de que un dios marino pasara de ser agua a ser fuego le parecía incomprendible, así Menelao lo hubiera visto con sus ojos. Este tipo de engaño era el único que merecía un comentario del filósofo:

PROTEO— *Y que engaño podría haber en cosas tan evidentes? No viste con los ojos abiertos en cuántas formas me cambié? Pero si desconfías y piensas que las transformaciones son falsas, como una apariencia engañosa colocada ante tus ojos, cuando me convierta en fuego, aplica tu mano sobre mí, queridísimo; así sabrás si sólo lo parezco o tengo también la propiedad de quemar (Diálogos marinos IV).*

LUCIANO mantenía esa misma actitud en *Sobre la muerte de Peregrino* (1, 28), no obstante que el objeto de esa sátira, el filósofo Peregrino, para mayor sarcasmo recibía allí el apodo de “Proteo” por haber muerto al arrojarse en medio de las llamas,<sup>24</sup> (¡Qué oportunidad ésta para aprovechar las inconsistencias del mito!). También en el *Encomio de Demóstenes* (24), aunque allí el propio Proteo era ridiculizado<sup>25</sup> y en *Acerca de los sacrificios* (5), a pesar de que la alusión a la divinidad marina se producía en el contexto de una mordaz ironía contra los actos atribuidas a los dioses<sup>26</sup>. Inclusive, en *Sobre la danza*, LUCIANO, en correspondencia con su disposición evermerista en la interpretación de los mitos

<sup>24</sup> “Al desdichado Peregrino, o, como a él mismo le agradaba llamarse, Proteo, le ocurrió exactamente lo mismo que al Proteo homérico; después de convertirse en todo por afán de gloria, y de adoptar innumerables formas, al final también se ha convertido en fuego; hasta tal punto le poseía la pasión por la fama” (§1) (*Cf. también, op. cit. §28*).

<sup>25</sup> “«Eres ingenuo», dije, «Teságoras, si crees que yo me las he arreglado para tener una sola alternativa a lo largo de todos estos años y no te das cuenta de que más bien he adoptado toda clase de giros y he dado tantas vueltas que temo que al final me ocurra lo mismo que a Proteo»

«¿Y qué le paso a Proteo?», dijo.  
«...después de haber agotado todas las figuras ...se convirtió otra vez en Proteo».

<sup>26</sup> Refiriéndose a los relatos sobre las transformaciones de Zeus para seducir a sus amados: “...en resumen, más variopinto que el propio Proteo”.

del pasado, llegaba a explicarse el por qué de la leyenda de las proezas del viejo:

*Yo creo que el antiguo mito de Proteo el egipcio no significa otra cosa sino que fue un danzarín con capacidad de imitación, que podía adoptar todas las formas y cambios... Sin embargo, la mitología, asumiéndolo en su aspecto más extraordinario, describía la naturaleza de Proteo como si realmente ocurriera lo que él imitaba (§19. Subrayados nuestros).*

Pero el "aspecto más extraordinario" de la narración de Proteo no era, por supuesto, su capacidad de mutar, sino la paradoja que encierra el que se le hubiera engañando con el fin de aprovechar su poder de adivinarlo todo. Así pues, la inconsistencia de Proteo pasaba desapercibida delante del afilado escabelo crítico de nadie menos que LUCIANO DE SAMOSATA.

Las obras de nuestros días continúan pasando por alto las contradicciones de Proteo pero, invariablemente, le dan al dios el carácter inambiguo de paradigma del ser cambiante, según el significado que ha adquirido en muchas lenguas el adjetivo 'proteico'. Este es, por ejemplo, el caso de los *Motivos de Proteo* de JOSÉ ENRIQUE RODÓ (1955: 7-8) o de *La necesidad del mito* [1991] (1992: 97-9) de ROLLO MAY o aún el del modelo - brillante, por lo demás- con el cual JPSEPH CAMPBELL interpreta la sabiduría elusiva del mito (1968: 381-82).

Recientemente, los estudiosos E. VERMEULE y J.-P. VERNANT han interpretado la sorprendente identificación en Proteo de la sabiduría y la ignorancia, la clarividencia y la miopía, la verdad y el engaño, como una limitación de la divinidad. Dice VERMEULE a propósito de los dioses marinos de los griegos:

*En ocasiones, su visión personal es breve: Tritón o Proteo son incapaces de predecir que el mortal que los acosa los atraparé finalmente y los obligará a mostrar su conocimiento. A pesar de todo, cada figura mitológica submarina detenta una pizca del don (1984: 310-11).*

Y, afirma VERNANT:

*Si on attend de lui une réponse à une question, il doit la donner désormais sans ambiguïté ni feinte, de façon claire et univoque. Ainsi le rusé à trouvé plus rusé que lui;*

*le vigilant a été surpris; le maître des liens lié; celui qui déroulait tout un cycle de métamorphoses se voir à son tour encerclé; le polymorphe a été ramené à une forme unique; l'énigmatique a été rendu clair (1970: 43 n. 1).*

Sin embargo, yo al menos he sido incapaz de hallar una interpretación semejante en las fuentes clásicas, que son las que documentan la mentalidad de los hombres que concibieron y difundieron el mito de Proteo; no la de los académicos de hoy que, como diría *Quine* oscilan entre LÉVY-BRUHL y MALINOWSKY. Al contrario, las fuentes originales insisten en que Proteo es un dios que todo lo sabe y que nunca miente. Además, si se medita en ello, una limitación de la clarividencia y la veracidad en un dios de la veracidad y la clarividencia, antes que resolver la paradoja, la reitera y la refuerza: acaso el poder completo, perfecto, divino, tampoco es completo ni perfecto ni divino?

\* \* \*

En realidad, la invisibilidad de sus inconsistencias es un hecho que serviría por sí sólo para demostrar con claridad la capacidad asertórica de las versiones más antiguas de la historia de Proteo, pues, en últimas, la *Odisea* y las *Geórgicas* son la fuente de todas las otras versiones conocidas. Durante siglos, por ejemplo, no obstante ser autcontradictorio, el relato ha sido interpretado en el sentido de que el personaje significa capacidad de mutar; durante siglos el relato le ha dicho tal cosa a sus oyentes o sus lectores. Esa invisibilidad o esa omisión de lo inconsistente es, entonces, prueba de que los pasajes relativos a Proteo, tal cual aparecen en HOMERO y VIRGILIO, son a la vez de naturaleza *Goofus Bird* y *Goofang*: las ideas de 'Proteo' y de lo 'proteico', introducidas allí al lado de las inconsistencias, se han separado de estas últimas y han atravesado la historia de la cultura occidental expresadas en conceptos dotados de plena coherencia y capacidad de decir.

Hay también, entonces, lugar a inconsistencias latentes en el mito, que no son tan fáciles de descubrir y que a veces requieren de pruebas lógicas particulares, eventualmente muy complejas. La complejidad lógica de los pasajes citados de los mitos de Proteo es muy moderada, pero, en ellos, el juego de la adivinación y el engaño ya representa un ejemplo de relato cuya inconsistencia latente puede pasarse por alto cuando la imagen del viejo marino se focaliza en sus transformaciones, transformaciones de las cuales él es el paradigma. Esa inconsistencia aún es soslayada cuando se centra la atención en las

celadas en las playas, las colmenas vacías, las abejas que brotan de cadáveres, las naves varadas por la venganza de los dioses, la mutación del agua en fuego, o la triste condición de ser traicionado por la hija y de dormir solitario entre las fétidas focas. La omnisapiencia engañada del dios es un ejemplo de pasaje *Goofang* que tiende a pasar desapercibido al deslizarse detrás de la cortina de humo tendida por la fantasía –o verosimilitud– de los pasajes *Goofus Bird*. La de Proteo ya no es una inconsistencia patente y trivial, sino latente (en realidad no tenemos noticia de que haya sido alguna vez notada por algún autor).

Desde el punto de vista del que relata o informa sobre algo que se considera verdadero o falso (a secas o en algún grado o probabilidad), un mito debe ser considerado como una teoría, en el sentido lógico del término, y sus inconsistencias pueden tener distintos grados de perspicuidad. La consistencia o inconsistencia de una teoría constituida por unos pocos enunciados expresables en fórmulas atómicas quizás sea fácil de determinar, mas, en ciertas ocasiones, esa determinación llega a ser extraordinariamente compleja. Es precisamente porque no todas las inconsistencias de las teorías son patentes –y, por ende, porque no toda consistencia lo es tampoco– que se justifica una buena parte del desarrollo de los métodos y objetivos de la ciencia lógica. La inconsistencia que hemos señalado en el mito de Proteo ha pasado desapercibida para muchos críticos y analistas; eso siendo sencilla su estructura y casi evidente su contradictoriedad. Es más, como anotamos, al menos en este caso la autocontrariedad no depende de lo que en el relato pareciera lucir más fantástico y de lo que ha retado mayormente el sentido común de sus numerosos intérpretes y comentaristas: la facultad del dios de cambiarse a voluntad. Según la ciencia lógica, pues, no estamos a salvo de pensar que un pasaje incoherente es coherente y posible, ni de creer que es incoherente e imposible uno que sí lo es.

Un caso en que la distinción entre pasajes *Goofus Bird* y pasajes *Goofang* ha resultado ser verdaderamente difícil es, ya no el de un ser que es engañado siendo omnisapiente y que engaña siendo veraz, sino, francamente, el de un mentiroso que no es mentiroso; un caso que, a veces, también tiene que ver con la adivinación. Tal parece que cuando la adivinación y el engaño entran en la escena mítica, con frecuencia son fuente de paradojas. Veamos la siguiente situación, que, así como la de Proteo, por lo que sabemos ha pasado desapercibida a lo largo de los siglos:

TÁCITO, en los *Anales del Imperio Romano*, refiere un curiosísimo episodio protagonizado por Trasilo, el astrólogo del César Tiberio:

*Quando buscaba oculto consejo [antes de llegar a ser emperador], Tiberio se habría retirado a la cima de su morada [en Rodas] con sólo un liberto fuerte y analfabeto que era su confidente. Este hombre conducía ante su presencia a aquellos astrólogos cuya competencia había decidido probar, llevándolos a través de un terreno sin sendas, lleno de precipicios, hasta la casa que se asomaba sobre un desfiladero. En el viaje de regreso, el liberto arrojaba al mar a aquellos candidatos no dignos de confianza o sospechosos de fraude, para que no superviviese nadie capaz de revelar el secreto de la prueba.*

*Trasilo, quien había llegado ante Tiberio por esa ruta, lo había impresionado con sus inteligentes profecías, incluyendo la de su futuro ascenso al trono. Tiberio, entonces, habría preguntado a Trasilo si había examinando su propio horóscopo cómo aparecía en éste lo tocante a ese año y ese día? Trasilo, después de medir cuidadosamente la posición y la distancia de las estrellas, había primero dudado y, después, mostrado alarma. Cuanto más examinaba la situación, más mostraba asombro y temor. Entonces gritó que quizás estaba ante una emergencia fatal para él. Tiberio lo habría abrazado, le habría encomendado la adivinación del peligro y le habría prometido que escaparía de esa contingencia. Trasilo habría de ser admitido entre sus más cercanos amigos y sus dictámenes serían considerados oráculos (The Annals of Imperial Rome VI, 20, ss.)*

Ahora, la astrología egipcia y babilónica que por lo menos desde los escritos del pretor NIGIDIO FÍULO (58 a. C.) se difundiría con gran prestigio en Italia durante el siglo II (PARKE 1967: 134), tenía una forma débil y una rigurosa (OGILVIE 1969: 54–55). En su forma débil, la adivinación astrológica se concebía apenas como el conocimiento de los propósitos de los dioses, conocimiento que era posible solamente porque los dioses así lo deseaban: por ejemplo, SALUSTIO opinaba que “lejos de ser la causa de todo, los astros sólo proporcionan ciertas indicaciones. Pues, ¿cómo lo anterior al nacimiento podría proceder del nacimiento?” (Sobre los dioses y el

mundo IX, 6). Entre tanto, en su forma más rigurosa la astrología sostenía que todo lo que pasaba en el mundo y a los seres humanos dependía de la revolución de los cuerpos celestes que eran gobernados por una necesidad inflexible; de tal manera que lo que iba a suceder, sucedía fatalmente. En el siglo II, VETTIUS VALENTE (c. 150), afirmaba: "Es imposible para cualquier hombre superar mediante plegarias y sacrificios lo que ha sido fijado desde el comienzo" (cit. por OGILVIE op. cit. p. 54). Y LUCIANO, el crítico por excelencia de todo lo que se consideraba supersticioso, escribía:

*Ciertamente la Astrología es incapaz de convertir lo malo en bueno o de cambiar algo en el curso de los acontecimientos, pero es útil a quienes la consultan, pues deleita con muchísima anticipación a los que saben que les va a llegar algún motivo de felicidad, mientras acogen con más facilidad las desgracias, pues no les sobrevienen sin esperarlas, sino que las sobrellevan con más suavidad y naturalidad por su expectativa. Esta es mi opinión sobre la astrología (Sobre la Astrología 29).*

Pues bien; la astrología de Trasilo era del tipo fatalista: CICERÓN, un siglo antes de TÁCITO había discutido, junto a otras formas de adivinación, la de los astrólogos caldeos, de los cuales decía:

*...creen no solamente verosímil, sino cierto, que la influencia [astral] bajo la cual nacen los niños determina su naturaleza, dependiendo de esto sus aptitudes, gustos, disposiciones del cuerpo y del ánimo, acciones, accidentes y circunstancias de su vida (De la adivinación II, XLII).*

Por eso, en tiempos de TÁCITO, JUVENAL se había burlado del apego a los astrólogos de las mujeres de Roma: "La máxima confianza se deposita en los caldeos —decía. Lo que haya dicho un astrólogo lo creerán brotado de la fuente de Hamón" (*Sátiras VI*, 552). Más aún, SUETONIO (69–126?) había hablado específicamente de Tiberio: entre sus muchas quejas sobre el comportamiento del emperador anotaba que éste, aunque se ponía una corona de laurel para evitar los relámpagos cuando había tempestad<sup>27</sup>, era

*bastante indiferente en lo que respecta a los dioses y a las prácticas religiosas, pues cultivaba la astrología y estaba convencido de que todo lo gobierna el hado (Vidas de los doce Césares. III, 69)<sup>28</sup>.*

Lo predicho por Trasilo al emperador Tiberio debía parecer inevitable todavía en tiempos de Calígula, tanto como para que este último se empeñara en refutar la profecía pues, según había escuchado contar SUETONIO, construyó un enorme puente de embarcaciones sobre el mar y por dos días no hizo otra cosa que cruzarlo cabalgando de un lado al otro; todo ello sólo por que Trasilo había dicho a Tiberio que "Gayo (Calígula) tenía tantas posibilidades de ser emperador como de recorrer a caballo el golfo de Bayas" (*ibid.* IV, 19). Entonces, en el caso de la astrología caldea y en particular en el de la practicada por Trasilo, había más razón que en cualquier otro para que fuera válido el comentario que hacía CICERÓN dentro de su crítica escéptica a las creencias en astrólogos y augures:

*Lo que predice el adivino debe suceder infaliblemente: así es que no entiendo lo que quiere decirse cuando se refiere que un águila hizo retroceder a nuestro amigo Deyotaro, y que este rey evitó dormir en una habitación que, derrumbándose a la noche siguiente, le hubiese aplastado en su caída. Si esto era decreto del destino, no habría escapado al peligro; y si no estaba decretado, no podía sucumbir (De adv. II, VIII)*

Dadas estas indicaciones sobre la forma en que asumían la adivinación astrológica gentes como Tiberio y Trasilo, la historia narrada en los Anales resulta desconcertante. Si nos atenemos a su desenlace, el astrólogo no sólo no fue despeñado sino que fue llamado al servicio del futuro César. Pero, entonces, como eso era lo que habría de ocurrirle en ese preciso día, eso era lo que debería haber adivinado y no que estaba ante la amenaza de un peligro. Luego, si en realidad vio en su horóscopo algo que lo llenó de pavor, Trasilo no adivinó y, por lo dispuesto para la prueba, Tiberio ha debido mandarlo despeñar. Aunque, en ese caso, Trasilo hubiera adivinado y Tiberio no hubiera debido ordenar su ejecución,

<sup>28</sup> Este comportamiento de Tiberio resultaba escandaloso para SUETONIO precisamente porque, bajo esa forma fatalista, las creencias astrológicas resultaban incompatibles con la religión instituida en Roma. Si lo que iba a ocurrir estaba predestinado, como decía VETTIUS VALENTE, no podía ser modificado ni siquiera por la plegaria o el sacrificio religioso (*cf.* OGILVIE loc. cit.).

<sup>27</sup> El laurel tenía poderes apotropáicos; en este caso servía para alejar el rayo.

sino que lo ha debido llamar a su servicio. Mas, de haber sido así, Trasilo no hubiera adivinado y Tiberio ha debido mandarlo despeñar. Pero, entonces, Trasilo sí habría adivinado y Tiberio ha debido contratarlo. Pero... Pudiéramos continuar pasando de una conclusión a la opuesta indefinidamente.

La lógica de la adivinación es compleja y merece un análisis independiente; por ahora, simplemente admitamos con CICERÓN que la adivinación se presenta como "presentimiento y ciencia de las cosas futuras" (*De adv.* I, I) o, más exactamente quizás, como "presagio y presentimiento de cosas fortuitas" (*De adv.* II, V). Ese 'presagio' o 'presentimiento' supone alguna forma de percepción<sup>29</sup>; adivinar el futuro significa percibir, sentir anticipadamente, anunciar lo que habrá de ocurrir. Un adivino que, consultado sobre algo, anuncia lo que a la postre no sucede (y en el caso fuerte, que no anuncia lo que a la postre sucede), miente cuando dice que adivina. El castigo impuesto por Tiberio es un castigo a esta forma de mentir. Entonces, la paradoja de la prueba de Trasilo consiste en que éste anuncia (anuncia con su actitud de temor; así lo entiende Tiberio) que ha llegado hasta allí para ser castigado por mentir. Esta es exactamente la forma lógica del caso sometido al juicio de Sancho Panza que aparece en el Capítulo LI del *Quijote* (1955 Vol. II, p. 908); este sí, al contrario del astrólogo, bien conocido y comentado por paradójico. Allí Sancho Panza se enfrenta a la situación de un hombre que, ante unos jueces dispuestos a condenar a muerte a los transeúntes que mienten, colgándolos en una horca colocada en la mitad de un puente, jura que ha venido a morir en ese patíbulo: si dijera la verdad debería dejarse pasar, pero entonces habría dicho una mentira.

El pasaje de Trasilo y el del hombre de la horca pueden ponerse en correspondencia punto por punto; los dos representan el mismo caso lógico. Y, sin embargo, la actitud lógica que ante ellos asumen sus narradores es bien distinta. Evidentemente, si CERVANTES pone a Sancho enfrentándose al dilema es porque lo encuentra paradójico —y sin duda divertido desde el punto de vista que llamaríamos "lógico-formal"— (otra cosa es que, en el *Quijote*, a la pragmática razón del escudero le importe poco la forma lógica y éste resuelva el dilema aplicando el principio según el cual, cuando la justicia esté en duda, debe acogerse la misericordia). En cambio lo que ocurre con TÁCITO es distinto. El historiador no parece ser consciente en manera alguna del carácter paradójico

de la historia que él mismo relata. Después de narrar la leyenda, el único comentario del latino es de índole antropológico-filosófico y no lógico-formal:

*Cuando escucho esta y otras historias similares, siento incertidumbre acerca de si los asuntos humanos están dirigidos por la inalterable necesidad de la Fortuna o por el azar. Sobre este punto los más sabios de los viejos maestros y sus discípulos difieren* (TÁCITO loc. cit.).<sup>30</sup>

Los anteriores dos pasajes, el de los Anales y el del *Quijote*, son ejemplos de la conocida paradoja de Epiménides o de el mentiroso: "Epiménides, el Cretense, dice: Todos los cretenses son mentirosos. Por esto su aserción es falsa [ya que Epiménides es cretense]. Por consiguiente, los cretenses no son de ningún modo mentirosos; de lo que resulta que Epiménides tampoco lo es. Luego él no ha mentido, sino que ha dicho la verdad. Por consiguiente..." (KOYRÉ 1981: 73). Una paradoja que atormentó a los lógicos por siglos, y que mató por lo menos a uno de ellos, a FILITES DE COS (cf. Sainsbury 1988: 1; TARSKI 1969: 66): "Caminante, yo soy Filites; el argumento el mentiroso y la profunda meditación nocturna me dieron muerte" (BOCHENSKI 1985: 142) (esto, si es que decir "estoy muerto" no es la afirmación de un mentiroso que dice que está mintiendo (cf. KOYRÉ op. cit. p. 78)).

Como señalamos, no sabemos si alguien ha reconocido la paradoja de Epiménides en la leyenda de la prueba de Trasilo, pero como han notado muchos autores (p. ej. KNEALE y KNEALE 1980: 214; SAINSBURY op. cit. p. 114), una versión relativamente reciente de la misma

<sup>30</sup>Tratándose de Tiberio, cabe conjeturar que ser llamado a su lado como uno de sus más cercanos consejeros no debía ser exactamente un hecho afortunado. En efecto, SUTTON cuenta que, por lo menos en otra oportunidad, de no ser porque felizmente anunció a su protector que una nave le traía buenas noticias, el astrólogo hubiera sido ahogado por el César, quien "cansado... de sus vanas predicciones, había tenido el pensamiento de arrojarle al mar" (*Los doce Césares*, "Tiberio", XIV). Sin embargo, pretender resolver la paradoja mediante la interpretación de que el shock sufrido por Trasilo al consultar su horóscopo era por haber visto ese futuro de largo plazo (hay que notar que se trataba del horóscopo para ese día), o que la actitud de Tiberio obedeció a una falta de agudeza suya, o a la capacidad de fingir de Trasilo, etc., sería ir mucho más allá de lo que pretendía decir Tácito al introducir la leyenda en los Anales. Como puede leerse en su comentario sobre el papel jugado por la necesidad de la Fortuna o el azar en la vida de los hombres, el interés que tenía era el de exhibir un caso en que se alegaba que había estado presente la adivinación; la adivinación, por supuesto, del peligro inminente que encerraba la terrible prueba ideada por Tiberio.

<sup>29</sup>Præsago (presagiar), de præ (delante, antes) y sagio (olfatear de modo penetrante); præsentio (presentir), de præ y sentio (percibir, sentir).



aparece también en SAN PABLO (Tit. 1: 12,14)<sup>31</sup>. Allí el apóstol citaba a Epiménides<sup>32</sup>, pero, como en el caso de TÁCITO, no era consciente de la paradoja que introducía con su amonestación a Tito (KNEALE y KNEALE; SAINSBURY loc. cit.). En los días del apóstol, la frase "Todos los cretenses son mentirosos" debía ser un lugar común y probablemente se acudía a ella haciendo al tiempo alusión al gentilicio de su autor<sup>33</sup>. Cuatro siglos antes, también CALÍMACO (c. 300-240 B.C.) había usado la sentencia para desvirtuar la leyenda de que en Creta estaba la tumba de Zeus:

*Mi espíritu vacila, pues se discute tu nacimiento. Unos dicen, Zeus, que naciste en los montes Ideos; otros, que en Arcadia. ¿Quiénes, oh padre, no dicen la verdad? «Los Cretenses, eternos mentirosos», los Cretenses que han llegado incluso a construirte una tumba, oh soberano. Pero tu no has muerto jamás, tu existes para siempre (Himno I, A Zeus 5-10)<sup>34</sup>.*

Tampoco CALÍMACO notaba la paradoja que, entiméricamente, encerraba su argumento a favor de la inmortalidad de Zeus: lo que quería hacer el poeta con sus afirmaciones era, simplemente, y a diferencia de CERVANTES, refutar lo que para él era una falsedad que disminuía la dignidad del rey de los dioses. En eso era como TÁCITO y SAN PABLO, quienes apenas deseaban dar cuenta de un hecho histórico (y, por así decirlo, etnográfico, en el caso del segundo). El caso de estos autores no constituye en manera alguna una excepción;

<sup>31</sup>La versión de la paradoja en Tácito pudiera ser de la misma época o más reciente que la versión que aparece en SAN PABLO. Se ha llegado a dudar de la autoría pero según algunos, el apóstol escribió su Epístola a Tito durante su primer viaje misionero a Creta, quizás cuando fue a Corinto o a Éfeso, todo lo cual ocurrió antes del año 60 (cf. HASTINGS (ed.) 1909 Dict. of the Bible sub verb. "Chronology of the New Testament", "Titus, Epistle to"); otros sostienen que debió serlo en el año 64, después de la prisión del santo de que hablan los Hechos de los Apóstoles (DUMMELOW, J. R. (Ed.) 1951 *A Commentary on the Holy Bible*, p. 1006). Tácito escribió sobre Tiberio dieciocho años después de haber terminado el reinado de ese emperador en el año 37, es decir, hacia el año 55 de nuestra era (GRANT 1975: 18).

<sup>32</sup>«The Cretans are always liars»-quotation from the Minos of Epimenides, a Cretan poet (c. 600 BC). (...) The phrase was no doubt familiar and cannot be used to prove that the Apostle possessed a wide knowledge of the classics" (*A Catholic Commentary on Holy Scripture* 1951, sub verbo "The Epistle to Titus" §925 b, p. 1150).

<sup>33</sup>Véase la nota anterior y la siguiente.

<sup>34</sup>"La frase entremillada, proverbial, se atribuye a EPIMÉNIDES DE Creta (cf. 1 DIELS-KRANZ)". Nota del traductor de la edición aquí citada (p. 38, N. 4).

al parecer, la paradoja seguía siendo imperceptible para NÁCAR Y COLUNGA cuando, a mediados de nuestro siglo XX, traducían a SAN PABLO: en una nota a los versículos de la *Epístola a Tito* arriba citados señalaban:

*Esta sentencia, tan poco lisonjera para los cretenses, es de Epiménides, de Cnosos, poeta del siglo VI, que debía de conocerlos (N. 12. Subrayado nuestro).*

Y todo esto, como se ha dicho, a pesar de que "el mentiroso", por paradójico, habría de ser durante siglos el tormento de los lógicos, hasta el punto de provocar el fallecimiento del pobre de FILETES DE COS, aquel trasnochador que desde la tumba donde duerme sigue denunciando al cretense Epiménides por haberle causado la muerte impidiéndole dormir.

\* \* \*

En los mitos los pasajes *Goofus Bird* se asocian a los pasajes *Goofang*. Pudiera ocurrir, pues, que al asumir acríticamente cualquiera de las actitudes caracterizadas por *Quine*, el investigador pasara por alto claves lógicas fundamentales para comprender la cosmovisión expresada por un pasaje -desconcertante o no- de la literatura mítica. Porque sería factible que ese pasaje fuera en verdad incoherente -ésto es un pasaje *Goofang*, en coincidencia (accidental) con las teorías de autores como MALINOWSKI o LÉVY-BRUHL, o que al contrario, fuera coherente -e. d., *Goofus Bird*- en concordancia (accidental) con las teorías de un autor como MALINOWSKY. En este último caso, lejos de parecer imposible a los sujetos de la cultura que lo hubiera producido, tal vez podría, además, ejemplificar paradigmáticamente su sistema de referencia o su "sentido común". Pero, entonces, cómo advertir a priori cuál pasaje sería de cuál tipo? Y, luego, al pasar por alto el hecho etnográfico e histórico de que en los mitos los pasajes consistentes se asocian a otros inconsistentes sin perder su capacidad de decir, de contar, de describir, no se correría así el riesgo de omitir el reconocimiento de una propiedad que pudiera ser fundamental y quizás la básica de la lógica del mito?

## Obras citadas

ANÓNIMO (1987) *Himnos órficos*. M. Periago Lorente (Introducción, traducción y notas). Madrid: Gredos.

ARRUDA, A. I. (1980) "A Survey of Paraconsistent Logic", en A. I. Arruda, R. Chuaqui, N. C. A. Da Acosta, (Eds.) *Mathematical Logic in Latin America*, pp. 1-41. Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland.

- ARTEMIDORO (1989) *La interpretación de los sueños*. E. Ruiz García (Introducción, traducción y notas). Madrid: Gredos.
- BORGES, J. L. (1985) *El libro de los seres imaginarios*. Barcelona: Bruguera.
- CALÍMACO (1980) *Himnos*. L. A. de Cuenca y Prado (Trad.). Himnos Homéricos, Himnos Órficos. Madrid: Gredos.
- CARNAP, R. (1958) *Introduction to Symbolic Logic and its Applications*. New York: Dover.
- CERVANTES, M. DE (1955) *Don Quijote de la Mancha*. 2 vols. M. de Riquer (Texto y notas). Barcelona: Juventud.
- CICERÓN (1985) *De la adivinación*. El Hado. F. Navarro y Clavo (Traducción); F. J. Fortuni (Introducción). Barcelona: Orbis.
- CLAUDIO ELIANO (1984) *Historia de los animales*. 2 vols. Libros I-VIII. J. M. Díaz-Regañón López (Introducción y traducción). Madrid: Gredos.
- DISNEY MILLER, D. (1961) *Walt Disney*. Madrid: Rialp.
- EURÍPIDES (1968) *Tragedies*. The Complete Greek Tragedies, II. Helen D. Greene and R. Lattimore (Eds.), W. Arrowsmith (Traducción e Introducción) Chicago: The University of Chicago Press.
- GEACH, P. T. (1981) *Logic Matters*. Oxford: Basil Blackwell.
- GRANA, N. (1983) *Logica paraconsistente. Una introduzione*. Napoli: Loffredo Editore.
- GRANT (1975) "Translator's Introduction", en *Tacitus, The Annals of Imperial Rome*, pp. 7-28.
- HERÁCLITO (1989) *Alegorías de Homero*. Introducción de E. Calderón Dorda; M.A. Ozaeta Gálvez (Traducción y notas). Madrid: Gredos.
- HINTIKKA, J. (1963) "The modes of modality" en *Proceedings of a Colloquium on Modal and Many-Valued Logics*. Helsinki, 23-26 August, 1962. Acta Philosophica Phennica, Fasc. XVI, 1963, pp. 65-84.
- HOMERO (1960) *Odyssée*, IV. V. Bérard (Trad.). Paris: Le livre de Poche.
- (1964). *The Odyssey*, IV. S. Butler (Trad.) New York: Washington Square Press.
- (1993) *Odisea*. J. M. Pabón (Trad.). Madrid: Gredos.
- (1995) *Odyssey*. 2 vols. A. T. Murray (Traducción); G. Dimock (Revisión). Cambridge, Mass.: London, England: Loeb Classical Library.
- HORNUNG, E. (1999) *El Uno y los Múltiples. Concepciones epipicias de la divinidad*. J. García Lemberg (Trad.). Madrid: Trotta.
- IMMS, A. D. (1947) *Insect Natural History*. London: Collins.
- ISIDORO DE SEVILLA, SAN (1982) *Etimologías*. 2 vols. (Edición bilingüe). J. Oróz Reta (Ed.). Madrid: B.A.C.
- JUVENAL (1965) *Sátiras*. M. Balasch Recort (Traducción, introducción y notas). Madrid: Espasa-Calpe.
- KRIPKE, S. (1980) *Naming and Necessity*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- LARRAYA, T. G. (1961) "Prólogo" a D. Disney Miller, *Walt Disney*, pp. 9-25.
- MALINOWSKI, E. (1954) *Political Systems of Highland Burma*. London: Bell.
- (1969) *Genesis as Myth and Other Essays*. London: Jonathan Cape.
- (1979) *Culture and Communication. The Logic by which Symbols are Connected*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LÉVY-BRUHL, L. (1926) *How Natives Think*. London: Allen & Unwin.
- (1972) *La mentalidad primitiva*. Buenos Aires: La Pléyade.
- (1978) *La mitología primitiva*. Barcelona: Península.
- LICOFRÓN (1987) Alejandra. M. y E. Fernández-Galiano (Introducción, traducción y notas). Madrid: Gredos.
- LUCIANO DE SAMOSATA (1987) *Diálogo de los dioses. Diálogo de los muertos. Diálogos marinos. Diálogos de las cortesanas*. J. Zaragoza Botella (Introducción, traducción y notas). Madrid: Alianza.
- (1988) *Obras*, T. II. J. L. Navarro González (Traducción y notas). Madrid: Gredos.
- (1990) *Obras*, T. III. J. Zaragoza Botella (Traducción y notas). Madrid: Gredos.
- MALINOWSKY, B. (1965) *Argonauts of the Western Pacific*. New York: E. P. Dutton.
- MAY, R. (1962) *La necesidad del mito. La influencia de los modelos culturales en el mundo contemporáneo*. Barcelona-Buenos Aires-México: Paidós.
- NÁCAR, E Y COLUNGA, A. O. P. (Eds.) (1957) *Sagrada Biblia*. 7a. ed. Madrid: B.A.C.
- OGILVIE, R. M. (1969) *The Romans and their Gods in the Age of Augustus*. London: Chatto & Windus.
- OVIDIO (1988) *Fastos*. B. Segura Ramos (Traducción, introducción y notas). Madrid: Gredos.
- PÁRAMO, G. (1989) *Lógica del mito, lógica paraconsistente. Una alternativa en la discusión sobre la lógica del mito*. Ideas y Valores, 79, pp. 27-67.
- PARKE, H. W. (1967) *Greek Oracles*. London: Hutchinson University Library.
- PLINIO (1958) *Natural History*. (10 vols.) (Edición bilingüe Latín-Inglés). The Loeb Classical Library. H. Rackham (Trad.). London: William Heinemann. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- PORFIRIO (1989) *El antro de las ninfas de la Odisea*. E. A. Ramos Jurado (Traducción, introducción y notas). Madrid: Gredos.
- QUINE, W. V. (1968) *Palabra y objeto*. Barcelona: Labor.
- RESCHER, N. AND BRANDOM, R. (1980) *The Logic of Inconsistency. A Study in Non-Standard Possible-World Semantics and Ontology*. Oxford: Blackwell.
- RODÓ, J. E. (1955) *Motivos de Proteo*. Santiago de Chile: Editorial Cultura.
- SAINSBURY, R. M. (1988) *Paradoxes*. Cambridge. New

York. Port Chester. Melbourne. Sydney: Cambridge University Press.

SALUSTIO (1989) *Sobre los dioses y el mundo*. E. A. Ramos Jurado (Introducción, traducción y notas). Madrid: Gredos.

SIERRA MEJÍA, R. (Ed. y trad.) (1981) *Epiménides el Mentiroso* (Documentos para la historia de la ciencia). Cuadernos de Filosofía y Letras., Vol. 4, Nos. 1 y 2. Bogotá: Universidad de los Andes.

STRAWSON, P. F. (1963) *Introduction to Logical Theory*. London: Methuen.

SUETONIO (1993) *Vidas de los doce Césares*. (Tiberio, Calígula). R. M. Agudo Cubas (Traducción y notas). Madrid: Gredos.

SUPPES, P. (1966) *Introducción a la lógica simbólica*. México: C.E.C.S.A.

TÁCITO (1975) *The Annals of Imperial Rome*. M. Grant (Introduction and translation into English). Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books.

TARSKI, A. (1968) *Introducción a la lógica y a la metodología de las ciencias deductivas*. Madrid: Espasa-Calpe.

VARIOS (1978) *Antología Palatina*. Vol. I. M. Fernández-Galiano (Traducción). Madrid: Gredos.

VERMEULE, E. (1984) *La muerte en la poesía y en el arte de Grecia*. J. L. Melena (Traducción) México: FCE.

VERNANT, J.-P. (1970) *Thétis et le Poème Cosmogonique d'Aleman*, Hommages à Marie Delcourt (Latomus 114 [1970]) 38 s.

VIRGILIO (1964) *The Egloges and Georgics of Virgil*. (Edición bilingüe Latín- Inglés). C. Day Lewis (Traducción). Garden City, N. Y.: Anchor Books.

— (1990) *Geórgicas*. T. de la A. Recio García y A. Soler Ruiz (Traducción) Madrid: Gredos.

### Enciclopedias, manuales y diccionarios

*A Catholic Commentary on Holy Scriptures* (1951). London. Edimburg. Paris. Melbourne. Toronto and New York: Thomas Nelson and Sons.

DUMMELOW, J. R. (Ed.) (1951) *A Commentary on the Holy Bible*. New York: Macmillan.

# DESMIDIAS (ZYGNEMAPHYCEAE) DE UN PEQUEÑO TRIBUTARIO DEL RÍO AMAZONAS EN COLOMBIA

por

Marcela Núñez-Avellaneda<sup>1</sup> & Santiago R. Duque<sup>2</sup>.

## Resumen

Núñez-Avellaneda, M. & S Duque. Desmídias (Zygnemaphyceae) de un pequeño tributario del río Amazonas en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **24**(93): 493-498. 2000. ISSN 0370-3908.

Este trabajo constituye un aporte al conocimiento de la diversidad de algas acuáticas de la Amazonia colombiana. Se estudian 13 taxones de desmídias ticoplanctónicas de los géneros *Gonatozygon*, *Mesotaenium*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Euastrum*, *Micrasterias*, *Staurastrum*, *Stauroidesmus* y *Xanthidium*. Dos de estos taxones se citan por primera vez para el país y diez para la Amazonia colombiana. Al final, se analiza la ecología del grupo en la región.

**Palabras clave:** Desmídias, taxonomía, ecología, Amazonia colombiana

## Abstract

This is a contribution to the knowledge of the freshwater algae of the Colombian Amazon region. Two of the 13 taxa are reported for the first time from Colombia and 10 are new records for the Colombian Amazon. Ecological characteristics are given for these desmids.

**Key words:** Desmids, taxonomy, ecology, Colombian Amazon Basin.

## Introducción

Las desmídias (Fam. Mesotaeniaceae y Desmidiaceae) son uno de los grupos de algas mejor representados en los

ambientes acuáticos de la Amazonia. Así lo demuestran los estudios efectuados principalmente en Brasil, de donde se han descrito más de 343 taxones (Uherkovich, 1984; Sophia & Huszar, 1996; Putz & Junk, 1997, entre otros).

<sup>1</sup> Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI. Cra. 5 # 8-28. Leticia, Colombia. marcelana@latinmail.com

<sup>2</sup> Instituto Amazónico de Investigaciones - IMANI. Universidad Nacional de Colombia - Sede Leticia. Apartado Aéreo 215. Leticia, Colombia.

Para la Amazonia colombiana hasta ahora se han citado 61 taxones pertenecientes a los géneros *Gonatozygon* (2 taxones), *Actinotaenium* (3), *Closterium* (19), *Cosmarium* (14), *Desmidiium* (1), *Euastrum* (2), *Hyalotheca* (1), *Micrasterias* (10), *Onychonema* (1), *Spondylosium* (2), *Staurastrum* (4), *Staurodesmus* (1) y *Teilingia* (1) que corresponden a los trabajos de **Duque & Donato** (1993, 1994, 1995, 1996a, 1996b) y **Duque & Núñez-Avellaneda** (1997). De la misma forma, las desmicias presentan alta diversidad en otros lugares de Colombia con cerca de 593 registros (**Duque**, 2000).

La presencia del grupo está relacionada con algunas características ecológicas, tales como, bajo nivel trófico. Prefirieron ambientes oligotróficos, pH en general menor de 7 y presencia de macrófitos, en especial limnófitos (**Coesel, et al** 1988; **Tell et al**, 1994). Estas condiciones se observan en varios lagos de Colombia, en especial en las zonas de alta montaña o de páramo (**González & Mora-Osejo**, 1996) y de tierras bajas como la Orinoquia (**Coesel**, 1987; 1992, **Coesel et al**, 1988). En la Amazonia colombiana se observan características ecológicas similares en algunos lagos de la llanura aluvial de los grandes ríos y, particularmente, en un pequeño tributario del río Amazonas, que presenta un interesante desarrollo de plantas acuáticas que favorece la presencia de las desmicias.

### Materiales y métodos

El material sobre el cual se basó el estudio se recolectó en la quebrada Pichuna en 1994, (4°6'13" LS y 70°2'30" LW) corriente de caudal reducido, cuya desembocadura está ubicada 5 km arriba de Leticia. La quebrada Pichuna se clasifica como un sistema de aguas negras tipo I de acuerdo con **Duque et al.** (1997), puesto que presenta mayor mineralización con respecto a otros cursos de agua del río Putumayo (tipo II) y del río Caquetá (tipo III), ubicados en la frontera colombo-brasileña.

La quebrada Pichuna cerca de su desembocadura con el río Amazonas presenta un importante desarrollo de tapetes flotantes de macrófitos, formados principalmente por *Paspalum repens*, *Ludwigia helminthorrhiza*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Salvinia auriculata* y *Azolla microphylla* (**Duque**, 1993). Las condiciones limnológicas de la quebrada Pichuna son de baja mineralización (10 -18  $\mu\text{S. cm}^{-1}$ ), pH entre 5.44 y 6.0, temperatura superficial de 24.3 - 29.3 °C, transparencia 0.50 m y turbidez de 8.0 - 25 NTU.

Las muestras se recolectaron mediante estrujamiento de macrófitos y se fijaron con transeau. El material está depositado en la Colección de referencia "Ficoteca

Amazónica" de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Leticia. Para la identificación de los especímenes se consultaron los trabajos de **Grönblad** (1945), **Teiling** (1966), **Prescott et al** (1972, 1975, 1977, 1981, 1982), **Rù•ièka** (1977), **Coesel** (1985, 1991) y **Bicudo & De Castro** (1994).

### Resultados

En el estudio se determinaron 13 taxones presentes en la quebrada Pichuna, de los cuales dos son de la familia Mesotaeniaceae y el resto Desmidiaceae. *Closterium kuetzingii* var. *kuetzingii*, *Cl. jenneri* var. *jenneri*, *Cl. jenneri* var. *robustum*, *Micrasterias abrupta*, *Staurastrum setigerum* var. *setigerum* f. *setigerum* ya habían sido citadas para otras áreas de la Amazonia colombiana. A continuación se mencionan los otros taxones encontrados en la misma quebrada y que constituyen nuevos registros para la Amazonia colombiana; la mayoría de ellos presentan una distribución cosmopolita.

#### Familia Mesotaeniaceae

1. *Gonatozygon pilosum* Wolle (fig. 1).  
1882 Bull. Torrey Club 9(1): 27. Pl. 13, Fig. 16.  
Dimensiones de 300 x 14  $\mu\text{m}$ .
2. *Mesotaenium endlicherianum* Nägeli 1849 (fig. 2).  
1882 Gattung. Einz. Algen, p. 109. Pl. 6-B.  
Dim. 39 x 10  $\mu\text{m}$ .

#### Familia Desmidiaceae

3. *Closterium closterioides* var. *intermedium* (Roy & Biss) Rù•ièka (fig. 3).  
1973, S. 99, Taf. 2:23  
Dim: 129 x 20  $\mu\text{m}$ . Para Sudamérica se conoce en Brasil incluida la región amazónica.
4. *Cosmarium commissurale* var. *crassum* Nordsted f. *crassum* (fig. 4).  
Vidensk. Meddr dansk naturh. Foren. 1869 (14-15): 213. 1869 (1870); 1887: pl. 3, fig. 19. 1887.  
Dim: 29 x 34 x 9  $\mu\text{m}$ . Este es el primer registro para Colombia.
5. *Euastrum ansatum* var. *ansatum* f. *ansatum* Ralfs (fig. 5).

Brit. desm. 85, pl. feg. 2a-f. 1848.

Dim: 67-70 x 38-40 x 11  $\mu$ m.

6. *Stauroidesmus brevispina* var. *brevispina* (Brébisson)  
Croas. (fig. 6).

Brit. Desm. 124, pl. 34, fig. 7. 1848.

Dim: 32 x 30 x 10  $\mu$ m. Este es el primer registro para Colombia.

*Stauroidesmus dejectus* (Bréb.) Teiling (fig. 7).

1954. Rapp. VIIIe Congr. Intern. Bot. Paris Sec.17: 128.

Dim: 20 x 17 x 8  $\mu$ m.

7. *Staurastrum quadrangulare* var. *longispinum* Börges  
(fig. 8).

Dim: 11 x 20 x 9 Ancho con espina: 30  $\mu$ m.

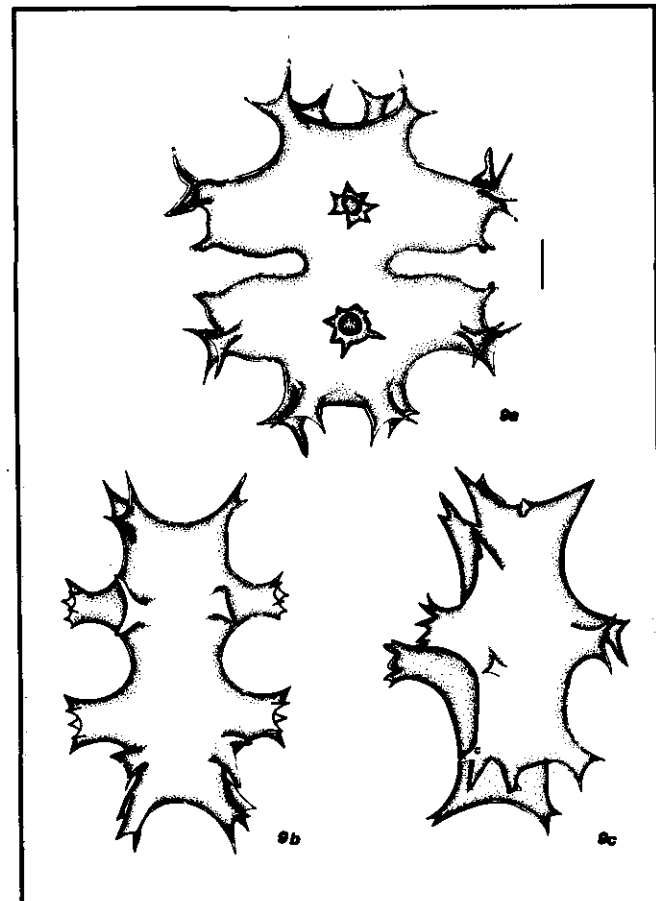
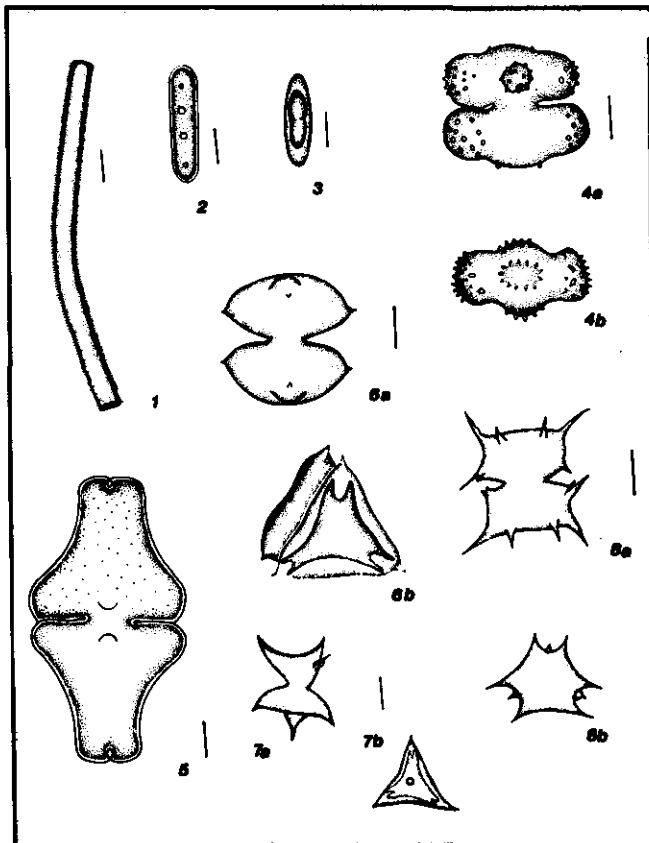
8. *Xanthidium trilobum* Nordstedt (fig. 9).

Vidensk Meddr dansk naturh. Foren. 1869(14-15): 230. 1869 (1870): 1887: pl. 3, fig. 35 a - c. 1887.

Dim: Sin procesos: 64-72 x 56-62  $\mu$ m. Con procesos: 93-103 x 72-80  $\mu$ m. Istmo: 17-19  $\mu$ m. Su área de distribución incluye Centro y Sudamérica.

### Discusión

El presente trabajo amplía en nueve taxones, la diversidad de desmидias en la Amazonia colombiana. Como primeras registros para Colombia están *Cosmarium commissurale* var. *crassum* f. *crassum* y *Stauroidesmus*



Figuras 1 a 8. Especies registradas en el presente trabajo.  
1. *Gonatozygon pilosum* 2. *Mesotaenium endlicherianum*  
3. *Closterium closterioides* var. *intermedium* 4. *Cosmarium commissurale* var. *crassum* f. *crassum* a. Vista frontal. b. Vista apical. 5. *Euastrum ansatum* var. *ansatum* f. *ansatum*.  
6. *Stauroidesmus brevispina* var. *brevispina*. a. Vista frontal. b. Vista apical. 7. *Stauroidesmus dejectus*. a. Vista frontal. b. Vista apical. 8. *Staurastrum quadrangulare* var. *longispinum*. a. Vista frontal. b. Vista apical. La escala es de 10  $\mu$ m.

Figura 9. Especies registradas en el presente trabajo. *Xanthidium trilobum*. a. Vista frontal. b. Vista lateral. c. Vista apical. La escala es de 10  $\mu$ m.

Tabla 1. Distribución de desmicias en Colombia de acuerdo con la conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) y el pH.

pH	TAXONES
< 5.5	<i>Actinotaenium wolleii</i> , <i>Bambusina brebisonii</i> var. <i>brebisonii</i> f. <i>brebisonii</i> , <i>Closterium acerosum</i> var. <i>acerosum</i> , <i>Cl. closterioides</i> var. <i>closterioides</i> , <i>Cl. gracile</i> var. <i>gracile</i> , <i>Cl. moniliferum</i> var. <i>moniliferum</i> f. <i>moniliferum</i> , <i>C. pseudoconnatum</i> var. <i>pseudoconnatum</i> , <i>Cosmarium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> , <i>C. connatum</i> var. <i>connatum</i> , <i>Desmidium swartzii</i> var. <i>swartzii</i> f. <i>swartzii</i> , <i>Euastrum gemmatum</i> var. <i>gemmatum</i> f. <i>gemmatum</i> , <i>Hyalotheca dissiliensis</i> var. <i>dissiliensis</i> f. <i>dissiliensis</i> , <i>Micrasterias abrupta</i> , <i>M. rotata</i> var. <i>rotata</i> , <i>Teilingia wallichii</i> var. <i>borgei</i> , <i>Xanthidium trilobum</i> .
5.5-6.5	<i>Closterium closterioides</i> var. <i>intermedium</i> , <i>Cl. cynthia</i> var. <i>cynthia</i> , <i>Cl. diana</i> var. <i>diana</i> f. <i>diana</i> , <i>Cl. jenneri</i> var. <i>jenneri</i> , <i>Cl. kuetzingii</i> var. <i>kuetzingii</i> f. <i>kuetzingii</i> , <i>Cl. limneticum</i> var. <i>limneticum</i> , <i>Cl. parvulum</i> var. <i>parvulum</i> , <i>Cosmarium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> , <i>C. connatum</i> var. <i>connatum</i> , <i>C. margaritatum</i> var. <i>margaritatum</i> f. <i>margaritatum</i> , <i>C. quadrum</i> var. <i>quadrum</i> , <i>Euastrum ansatum</i> var. <i>ansatum</i> f. <i>ansatum</i> , <i>Gonatozygon monotaenium</i> f. <i>punctatum</i> , <i>G. pilosum</i> , <i>Hyalotheca dissiliensis</i> var. <i>dissiliensis</i> f. <i>dissiliensis</i> , <i>H. mucosa</i> var. <i>mucosa</i> , <i>Micrasterias truncata</i> var. <i>truncata</i> , <i>Staurodesmus convergens</i> var. <i>convergens</i> , <i>Staurastrum quadrangulare</i> var. <i>quadrangulare</i> .
6.5-7.5	<i>Actinotaenium colpopelta</i> f. <i>colpopelta</i> ; <i>A. cucurbitinum</i> var. <i>cucurbitinum</i> f. <i>minus</i> , <i>A. wolleii</i> , <i>Closterium arcuarium</i> var. <i>arcuarium</i> , <i>Cl. closterioides</i> var. <i>closterioides</i> , <i>Cl. diana</i> var. <i>diana</i> f. <i>diana</i> , <i>Cl. eboracense</i> var. <i>eboracense</i> , <i>Cl. ehrenbergii</i> var. <i>ehrenbergii</i> , <i>Cl. jenneri</i> var. <i>jenneri</i> , <i>Cl. jenneri</i> var. <i>robustum</i> , <i>Cl. kuetzingii</i> var. <i>kuetzingii</i> f. <i>kuetzingii</i> , <i>Cl. leiblenii</i> var. <i>leiblenii</i> , <i>Cl. littorale</i> var. <i>littorale</i> , <i>Cl. moniliferum</i> var. <i>submoniliferum</i> , <i>C. pseudoconnatum</i> var. <i>pseudoconnatum</i> , <i>Cl. rostratum</i> var. <i>rostratum</i> , <i>Cl. striolatum</i> , <i>Cl. venus</i> var. <i>incurvum</i> , <i>Cl. tumidum</i> , <i>Cosmarium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> , <i>C. broomei</i> , <i>C. candianum</i> var. <i>candianum</i> , <i>C. commisurale</i> var. <i>crassum</i> , <i>C. connatum</i> var. <i>connatum</i> , <i>C. hamneri</i> var. <i>hamneri</i> f. <i>hamneri</i> , <i>C. galeritum</i> var. <i>galeritum</i> , <i>C. lundelli</i> var. <i>corruptum</i> , <i>C. quadrum</i> , <i>C. porrectum</i> , <i>C. pyramidatum</i> var. <i>stephani</i> , <i>C. trilobulatum</i> var. <i>abscisa</i> , <i>C. undulatum</i> var. <i>minutum</i> , <i>Desmidium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> , <i>Euastrum binale</i> var. <i>hians</i> , <i>E. gemmatum</i> var. <i>gemmatum</i> f. <i>gemmatum</i> , <i>Gonatozygon pilosum</i> , <i>G. monotaenium</i> var. <i>monotaenium</i> , <i>Hyalotheca mucosa</i> var. <i>mucosa</i> , <i>Mesotaenium endlicherianum</i> , <i>Micrasterias abrupta</i> , <i>M. laticeps</i> var. <i>acuminata</i> , <i>M. laticeps</i> var. <i>laticeps</i> , <i>M. mahabuleschwanensis</i> , <i>M. radians</i> , <i>M. radiosa</i> var. <i>ornata</i> , <i>M. rotata</i> var. <i>rotata</i> , <i>Onychonema laeve</i> , <i>Spondylosium desmidiiforme</i> var. <i>desmidiiforme</i> , <i>S. ellipticum</i> , <i>Staurodesmus gladiusum</i> var. <i>gladiusum</i> f. <i>gladiusum</i> , <i>Staurastrum convergens</i> var. <i>convergens</i> , <i>Staurastrum muticum</i> var. <i>muticum</i> f. <i>muticum</i> , <i>Staurastrum setigerum</i> var. <i>setigerum</i> , <i>Teilingia wallichii</i> var. <i>borgei</i> , <i>Xanthidium trilobum</i>
>7.5	<i>Bambusina brebisonii</i> var. <i>brebisonii</i> f. <i>brebisonii</i> , <i>Closterium acerosum</i> var. <i>acerosum</i> , <i>Cl. cynthia</i> var. <i>cynthia</i> , <i>Cl. gracile</i> var. <i>gracile</i> , <i>Cl. kuetzingii</i> var. <i>kuetzingii</i> f. <i>kuetzingii</i> , <i>Cl. parvulum</i> var. <i>parvulum</i> , <i>Cosmarium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> , <i>C. margaritatum</i> var. <i>margaritatum</i> f. <i>margaritatum</i> , <i>Euastrum ansatum</i> var. <i>ansatum</i> f. <i>ansatum</i> , <i>Gonatozygon aculeatum</i> , <i>G. pilosum</i> , <i>Micrasterias laticeps</i> var. <i>laticeps</i> , <i>M. truncata</i> var. <i>truncata</i> f. <i>truncata</i> , <i>Onychonema laeve</i>

Conductividad	TAXONES
< 50	<i>Actinotaenium wolleii</i> , <i>Bambusina brebisonii</i> var. <i>brebisonii</i> f. <i>brebisonii</i> , <i>Cl. acerosum</i> var. <i>acerosum</i> , <i>Cl. closterioides</i> var. <i>closterioides</i> , <i>Cl. cynthia</i> var. <i>cynthia</i> , <i>Cl. closterioides</i> var. <i>intermedium</i> , <i>Cl. diana</i> var. <i>diana</i> , <i>Cl. gracile</i> var. <i>gracile</i> , <i>Cl. jenneri</i> var. <i>jenneri</i> , <i>Cl. kuetzingii</i> var. <i>kuetzingii</i> f. <i>kuetzingii</i> , <i>Cl. limneticum</i> var. <i>limneticum</i> , <i>Cl. moniliferum</i> var. <i>moniliferum</i> , <i>Cl. moniliferum</i> var. <i>submoniliferum</i> , <i>Cl. parvulum</i> var. <i>parvulum</i> , <i>Cl. striolatum</i> var. <i>striolatum</i> , <i>Cosmarium baileyi</i> , <i>C. margaritatum</i> var. <i>margaritatum</i> f. <i>margaritatum</i> , <i>C. quadrum</i> var. <i>quadrum</i> , <i>C. pseudoconnatum</i> var. <i>pseudoconnatum</i> , <i>Desmidium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> f. <i>baileyi</i> , <i>Desmidium swartzii</i> var. <i>swartzii</i> f. <i>swartzii</i> , <i>Euastrum ansatum</i> var. <i>ansatum</i> f. <i>ansatum</i> , <i>E. gemmatum</i> var. <i>gemmatum</i> , <i>Gonatozygon aculeatum</i> var. <i>aculeatum</i> , <i>G. monotaenium</i> var. <i>punctatum</i> , <i>G. pilosum</i> , <i>Hyalotheca dissiliensis</i> var. <i>dissiliensis</i> , <i>H. mucosa</i> var. <i>mucosa</i> , <i>Micrasterias abrupta</i> , <i>M. truncata</i> var. <i>truncata</i> f. <i>truncata</i> , <i>M. rotata</i> var. <i>rotata</i> , <i>Staurastrum convergens</i> var. <i>convergens</i> , <i>S. muticum</i> var. <i>muticum</i> , <i>St. quadrangulare</i> var. <i>quadrangulare</i> , <i>Teilingia wallichii</i> var. <i>borgei</i> , <i>Xanthidium trilobum</i>
50-100	<i>Actinotaenium colpopelta</i> f. <i>colpopelta</i> , <i>Bambusina brebisonii</i> var. <i>brebisonii</i> f. <i>brebisonii</i> , <i>Closterium arcuarium</i> var. <i>arcuarium</i> , <i>Cl. closterioides</i> var. <i>closterioides</i> , <i>Cl. cynthia</i> var. <i>cynthia</i> , <i>Cl. eboracense</i> var. <i>eboracense</i> , <i>Cl. gracile</i> var. <i>gracile</i> , <i>Cl. jenneri</i> var. <i>robustum</i> , <i>Cl. jenneri</i> var. <i>jenneri</i> f. <i>jenneri</i> , <i>Cl. littorale</i> var. <i>littorale</i> , <i>Cl. leiblenii</i> var. <i>leiblenii</i> , <i>Cl. moniliferum</i> var. <i>moniliferum</i> , <i>Cl. moniliferum</i> var. <i>submoniliferum</i> , <i>Cl. rostratum</i> , <i>Cl. striolatum</i> , <i>Cl. tumidum</i> , <i>Cl. venus</i> var. <i>incurvum</i> , <i>Cosmarium broomei</i> , <i>C. candianum</i> var. <i>candianum</i> , <i>C. connatum</i> var. <i>connatum</i> , <i>C. commisurale</i> var. <i>crassum</i> , <i>C. hamneri</i> var. <i>hamneri</i> f. <i>hamneri</i> , <i>C. lundelli</i> var. <i>corruptum</i> , <i>C. margaritatum</i> var. <i>margaritatum</i> , <i>Cosmarium pseudoconnatum</i> var. <i>pseudoconnatum</i> , <i>C. quadrum</i> , <i>C. subaequale</i> , <i>Desmidium baileyi</i> var. <i>baileyi</i> f. <i>baileyi</i> , <i>Euastrum binale</i> var. <i>hians</i> , <i>E. gemmatum</i> var. <i>gemmatum</i> , <i>Gonatozygon aculeatum</i> var. <i>aculeatum</i> , <i>G. monotaenium</i> var. <i>punctatum</i> , <i>G. pilosum</i> , <i>Hyalotheca dissiliensis</i> , <i>H. mucosa</i> var. <i>mucosa</i> , <i>Mesotaenium edlicherianum</i> var. <i>edlicherianum</i> , <i>Micrasterias truncata</i> var. <i>pusilla</i> , <i>M. abrupta</i> , <i>M. radians</i> , <i>Onychonema laeve</i> , <i>Spondylosium desmidiiforme</i> var. <i>desmidiiforme</i> , <i>S. ellipticum</i> , <i>Staurastrum muticum</i> var. <i>muticum</i> , <i>Staurastrum quadrangulare</i> var. <i>quadrangulare</i> , <i>St. setigerum</i> var. <i>setigerum</i> , <i>Teilingia wallichii</i> var. <i>borgei</i> , <i>Xanthidium trilobum</i>
100>	<i>Actinotaenium cucurbitinum</i> var. <i>cucurbitinum</i> , <i>Closterium kuetzingii</i> var. <i>kuetzingii</i> , <i>Closterium limneticum</i> var. <i>limneticum</i> , <i>Cosmarium porrectum</i> , <i>Micrasterias abrupta</i> , <i>Onychonema laeve</i>



*brevispina* var. *brevispina*. La riqueza de algas de la quebrada Pichuna está conformada principalmente por desmicias, con cerca del 70%; otros grupos presentes son las diatomeas (15%) y los euglenoides (10%); el resto lo forman Chlorococcales, Cianobacterias y Crisofitas.

Este trabajo, junto con las otras publicaciones sobre desmicias en la Amazonia colombiana, eleva el número de registros a 72 taxones; algunas de estas desmicias habían sido citadas para otras regiones del país. Con base en esta información (tabla 1), se ponen de presente algunas tendencias de preferencia de las desmicias, teniendo en cuenta la conductividad y el pH. Esta información proviene de algunos trabajos citados por Duque (2000).

Las desmicias, de acuerdo con la información disponible, son más abundantes en aguas con bajo contenido de iones minerales y con bajo pH (tabla 1). Otro factor importante es la presencia de plantas acuáticas en los respectivos biotopos, como lo han mostrado Coesel (1987), Coesel et al (1988), González (1995) y Duque (1997).

La mayoría de las especies de desmicias registradas hasta ahora en la Amazonia colombiana, tienen distribución cosmopolita y prefieren ambientes oligo-mesotróficos, similar a lo que ocurre en otras regiones del país Coesel (1992), tal como sucede en la Orinoquia y en las zonas de alta montaña o de páramo. Para otros sectores de la Amazonia se ha hecho un planteamiento similar (Junk & Putz, 1997), que sugiere que, si bien las desmicias, en un hábitat determinado, presentan una densidad poblacional baja, muestran una notable riqueza de especies. Cabe señalar que las altas temperaturas, características de las zonas tropicales de baja altitud, tienden a favorecer el desarrollo de las desmicias, motivo por el cual la Amazonia puede ser considerada como uno de los sitios de origen evolutivo del grupo (Coesel, 1996).

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero otorgado por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas – SINCHI y por la Universidad Nacional de Colombia – Sede Leticia. Las ilustraciones fueron hechas por María Eugenia Morales a quien también expresan su agradecimiento.

### Bibliografía

- Bicudo, C. E. de M. & A. A. J. De Castro. 1994. Desmiodiflorula paulista IV. Generos *Closterium*, *Spinoclosterium*. Bibliotheca Phycologica. 1-191. J. Cramer. Stuttgart.
- Coesel, P. F. M. 1985. De desmidiaceen van Nederland. Deel 3. Fam. Desmidiaceae (1). Wetenschappelijke Mededeling KNNV 1-70 p

- . 1991. De desmidiaceen van Nederland. Deel 4. Fam. Desmidiaceae (2). Wetenschappelijke Mededeling KNNV nr. 202. 1-88 p
- . 1987. Taxonomic Notes On Colombian Desmids. Cryptogamie Algol. 8(2): 127-142
- . 1992. Desmid assemblies along altitude gradients in Colombia. Nova Hedwigia 55(3-4): 353-366
- . 1996. Biogeography on Desmids. Hydrobiologia 336: 41-53
- & S. R. Duque & G. Arango 1988. Distributional patterns in some neotropical desmid species (Algae, Chlorophyta) in relation to migratory bird routes. Rev. Hydrobiol. trop. 21(3): 197-205
- Duque, S. R. 1993. Inventario, caracterización y lineamientos para la conservación de los humedales del departamento del Amazonas. Universidad Nacional de Colombia - Inderena. Leticia. 1-107 p (Inédito).
- . 1997. Tipificación limnológica de algunos lagos de la Amazonia colombiana a través de la composición, biomasa y productividad del fitoplancton. Tesis M. Sc. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá. 134p.
- . 2000. Biología del fitoplancton epicontinental de Colombia. IMANI-ICN, Universidad Nacional de Colombia. (texto en revisión).
- & J. Ch. Donato. 1993. Primeros registros de *Micrasterias* (Desmidiaceae) en lagos del río Amazonas en Colombia. Caldasia. 17: 354-355
- . 1994. Primeros registros de *Closterium* (Desmidiaceae, Zygothyceae) en lagos de la orilla colombiana del río Amazonas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19(73): 259-264
- . 1995. Primeros registros de *Actinotaenium* y *Cosmarium* (Desmidiaceae) en lagos de la orilla colombiana del río Amazonas. Caldasia 18(2): 203-210.
- . 1996a. Primeros registros de desmicias filamentosas (Zygothyceae) en lagos de la orilla colombiana del río Amazonas. Bol. Ecotrop. 29:1-10
- . 1996b. Desmiodiflorula de los lagos marginales del río Amazonas en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 20(76): 57-61
- Duque, S. R., J. E. Rutz, J. Gómez & E. Roessler. 1997. Limnología. En: IGAC (Ed.). Zonificación ambiental para el plan modelo colombo - brasilero (PAT). Editorial Linotipia Ltda. Santafé de Bogotá. 69-134.
- & M. Núñez-Avellaneda. 1997. Ficoflora de algunos ambientes acuáticos de la Amazonia Colombiana. Caldasia 19(1-2): 279-284
- González, L. S. 1995. Estudio taxonómico de las desmicias de los sistemas lénticos de alta montaña tropical en Colombia. Tesis M. Sc. Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá.
- & L. E. Mora-Osejo. 1996. Desmiodiflorula de lagunas de páramo en Colombia. Caldasia 18(2): 165-202
- Grönblad, R. 1945. De algis Brasiliensibus, praecipue Desmidiaceis in regione inferiore fluminis Amazonas a professore August Ginzberger (Wien) Anno MCMXXVII Collectis. Acta Societatis Scientiarum Fennicae. Nova series B., Tom II (6): 36-43

- Prescott, G. W. H. T. Croasdale & W. C. Vinyard. 1972. North America flora. Desmidiales. Part 1. Saccodermatae. Mesotaeniceae. The New York Botanical Garden. Series II. Part 6. 1-82p.
- \_\_\_\_\_, H. T. Croasdale & W. C. Vinyard. 1975. A synopsis of North American Desmids. A synopsis of North American desmids. Part 2: Desmidiaceae: Placodermatae. Section 1. University of Nebraska Press. Lincoln.
- \_\_\_\_\_, H. T. Croasdale & W. C. Vinyard. 1977. A synopsis of North American Desmids. Part II: Desmidiaceae: Placodermatae. Section 2. University of Nebraska Press. Lincoln.
- \_\_\_\_\_, H. T. Croasdale, W. C. Vinyard & C. E. de M. Bicudo. 1981. A synopsis of North American Desmids part II: Desmidiaceae: Placodermatae. Section 3. University of Nebraska Press. Lincoln.
- \_\_\_\_\_, C. E. de M. Bicudo & W. C. Vinyard. 1982. A synopsis of North American Desmids. Part II: Desmidiaceae: Placodermatae. Section 4. University of Nebraska Press. Lincoln.
- Putz, R. & W. J. Junk. 1997. Phytoplankton and periphyton. In: Junk, W. J. (Ed.). The central Amazon Floodplain. Ecology of a pulsing system. Springer. 207-222.
- Růžička, J. 1977. Die desmidiaceen Mitteleuropas. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- Sophia, M. de G. & V. L. M. Huszar. 1996. Planktonic desmids of three Amazonian systems (lake Batata, lake Mussurá and Trombetas river), Pará, Brasil. Amazoniana 14(1/2): 75-90
- Telling, E. 1966. The desmid genus *Staurodesmus*. A taxonomic study. Ark. F. Bot. II. 6(11): 467-629
- Tell, G., I. Izaguirre & I. O'Farrell. 1994. Ecological and taxonomical remarks on the desmids flora of the lower Uruguay River basin (Argentina). Bibliotheca Phycologica. 96. J. Cramer. Stuttgart
- Uherkovich, G. 1984. Phytoplankton. In: Sioli, H. (Ed.). The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Dr. Junk Publishers, Boston. 295-310.

# REVALIDACIÓN DE *RUAGEA TOMENTOSA* CUATR. (MELIACEAE)

por

María Eugenia Morales-Puentes\*

## Resumen

Morales-P., M. E. Revalidación de *Ruagea tomentosa* Cuatr. (Meliaceae). Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24(93): 499-503. 2000 ISSN 0370-3908.

Se revalida *Ruagea tomentosa* Cuatr., como un taxón definido con base en el análisis de caracteres morfológicos. Se estudiaron 28 caracteres que diferencian a ésta especie de *R. pubescens* Karst. Además se describen y discuten las diferencias entre los taxones y se presenta su distribución geográfica, una clave que los separa y algunos aspectos ecológico de los mismos.

**Palabras clave:** *Ruagea*, Meliaceae, Colombia, nomenclatura, taxonomía.

## Abstract

*Ruagea tomentosa* Cuatr. is revalidated as a species based on an analysis of morphological characters. Twenty eight characters distinguish the species from *R. pubescens* Karst. Additionally the distributions and some ecological aspects of the two species are reported.

**Key words:** *Ruagea*, Meliaceae, Colombia, nomenclature, taxonomy.

El género *Ruagea* Karst. comprende siete especies distribuidas desde América Central hasta América del Sur desde el nivel del mar hasta los 3380 m, especialmente en las regiones montañosas de la cordillera de los Andes. Las características más sobresalientes del género *Ruagea* son: hojas imparipinnadas; prefloración quincuncial con sépalos libres; flores unisexuales, pentameras; tubo estaminal cilíndrico; ovario 3(-4) carpelar; fruto en cápsula loculicida que se abre en 2-3 valvas; semillas con sarcotesta basal,

carnosa o con un arilo parcialmente libre (Morales-Puentes 1997, Palacios 1994, Pennington & Styles 1975).

*Ruagea tomentosa* Cuatr. fue señalada por Pennington, Styles & Taylor (1981) como una especie dudosa; según este estudio los únicos caracteres propios de la especie son: folíolos cartáceos con ápice agudo, venación terciaria prominente y flores con ovario pubescente. Mediante la comparación; estudio morfológico y la revisión de colecciones de los herbarios COAH, COL, CUVC, HUA,

\* Biología M.Sc. Profesora Asistente, Herbario UPTC, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Apartado Aéreo: 1094, Tunja. E-mail: mmorales@donato.uptc.edu.co

TULV, VALLE y Herbario Forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDBC), se presentan 28 caracteres distintivos los cuales permiten validar a *R. tomentosa* como un taxa definido.

*Ruagea pubescens* Karst., Fl. Columb. 2:51, pl.126. 1863. Figura 1.(A-E).

**Tipo:** VENEZUELA. Aragua: Colonia Tovar, Karsten s.n. (Holótipo W-n.v.; isótipos F-n.v., LE-n.v.).

*Guarea ruagea* C. DC. in A. & C. DC. Monogr. Phan. 1:577. 1878

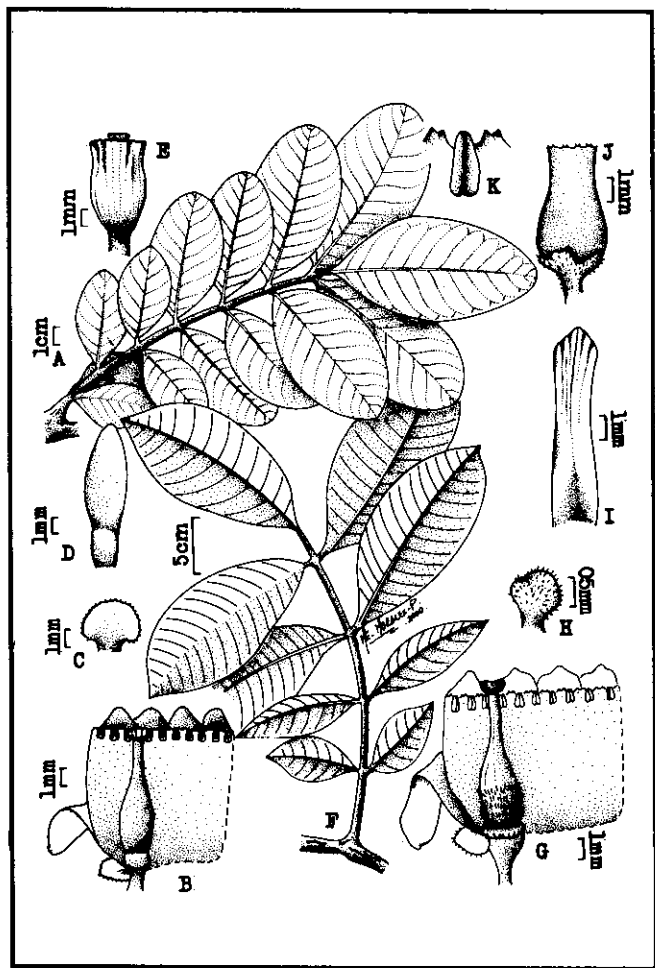


Figura 1. *Ruagea pubescens* Karst. A. Hoja; B. Flor en corte longitudinal; C. Sépalo; D. Pétalo; E. Vista externa del tubo estaminal (A. de Betancur et al. 4033 (COL); B-E. de Idrobo & Jaramillo 1682, (COL)). *Ruagea tomentosa* Cuatr. F. Hoja G. Flor en corte longitudinal; H. Sépalo; I. Pétalo; J. Vista externa del tubo estaminal; K. Detalle de la antera y ápice del tubo estaminal ( F-K. del isótipo Cuatrecasas 21988, (VALLE)).

*Guarea mollicoma* Pittier, Contrib. Fl. Venez., Arb. Arbust. Venez. 28.1923.

*Ruagea mollicoma* (Pittier) Harms, Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem 9: 427. 1925.

(Pennington, Styles & Taylor 1981).

Arboles entre 7-15(-20) m altura. Corteza gris con tintes rosados hasta marrones. Ramillas pubescentes. Hojas imparipinnadas 13-30 cm largo, raquis terete y pecíolos semiteretes. Pares de folíolos (5-) 7-11 (-13) por hoja (el folíolo terminal de mayor tamaño); pecíolulos 5-12 mm largo (el pecíolulo del folíolo terminal hasta 23 mm largo). Folíolos opuestos, elipsoides, obovados hasta ampliamente obovados, coriáceos, verdes con tintes amarillentos, lustrosos, 10-20 cm largo x 5-9 cm ancho, ápice redondo u obtuso, base asimétrica o cuneada, margen fuertemente revoluta; envés densamente puberulento hasta tomentoso; venas secundarias 10-15 pares arqueadas o paralelas y visibles. Inflorescencia axilar en panícula, 25-30 cm largo, pubescente hasta tomentosa. Pedicelos 1-2 mm largo. Flores 5-meras, 10 mm de largo, verdes con tintes blanquecinos, aromáticas; cáliz cilíndrico, los sépalos ovados o agudos, 1-1.5 mm largo, pubescentes o subglabros; pétalos lanceolados, 9 mm largo, ápice agudo hasta redondo, base recta y estrecha, glabros; tubo estaminal cilíndrico, glabro, corto (5-7 mm largo x 3-3.5 mm ancho), apicalmente crenado, base angosta; 10 anteras, 1.5-1.7 mm largo, sésiles y glabras; el pistilo 7.2-8 mm de largo; nectario corto-estipitado, glabro; ovario 3(-4)-carpelar, glabro, 2 óvulos por carpelo, elipsoide, base estrecha; estilo corto y glabro; estigma discoide. Fruto globoso, 2-4.5 cm diámetro, liso, verde con tinte marrón claro, al madurar con tinte anaranjado, lenticelas claras y pálidas, ápice cortamente estipitado o redondo, base redonda hasta aguda; dehiscencia en 3 valvas y con 1 semilla por carpelo. Semillas rodeadas por una sarcotesta, carnosa, anaranjada y lustrosa (Morales-Puentes 1997).

#### Distribución y Hábitat:

En las regiones montañosas de Colombia, Venezuela y Ecuador. En Colombia se presenta en las regiones Andina, Amazónica (sector norte, en el departamento de Caquetá), Pacífica (Cauca y Valle) y Atlántica en el departamento del Magdalena entre los 1700-2800 msnm en los bosques andinos y subandinos. Crece en hábitats muy húmedos a orillas de ríos y en bosques riparios; esta especie se encuentra asociada con *Cecropia* sp., *Weinmannia* sp., *Allophylus* sp., *Cyathea* sp., *Quercus humboldtii* y *Billia colombiana* (Boyacá, Betancur et al. 4033, 4251).

**Especímenes examinados**

**COLOMBIA. ANTIOQUIA:** Betania, Vereda Pedral Arriba, vertiente derecha quebrada La Bramadora, 2000-2300m, 15 feb 1997, *Sánchez et al. 3607 (COL)*; Corregimiento La Blanquita, Región de Murrí, Vía a la Blanquita, 14 jul 1988, *Callejas et al. 6856 (HUA)*; igual localidad, 12 oct 1987, *Brant & Martínez 1320 (HUA)*; Finca La Lola, división entre los municipios de Frontino y Urao, Parque de las Orquídeas, 16 jun 1981, *Escobar et al. 1777 (HUA)*; Frontino-Nutibara, río Cuevas, 2070m, 17 oct 1986, *Sánchez et al. 443 (HUA)*; Medellín, El Peñasco, sitio manantial, 9 mar 1990, *Betancur et al. 1790 (HUA)*; Valdivia, Vereda San Fermín, 22 mar 1988, *Callejas et al. 6156 (HUA)*; Yarumal-Ventanas, 2200m, 2 dic 1984, *Orozco et al. 1337 (COL)*. **BOYACÁ:** Corinto Vereda Comijoque, 2150-2200m, mar 1980, *Rangel et al. 2273 (COL)*; Duitama, Corregimiento El Carmen, Vereda Santa Elena, finca La Sierra, 2480m, 10 nov 1993, *Betancur et al. 4251 (COL)*; Pajarito, Hoya del río Cusiana en Rancherías, 1700m, 24 feb 1954, *Idrobo & Jaramillo 1610 (COL)*; Villa de Leyva, Santuario de Flora y Fauna de Iguaque, cabaña de Carrizal, 2740m, 23 mar 1993, *Betancur et al. 4033 (COL)*. **CAQUETÁ:** carretera Florencia-Suaza, km 47, 18 nov 1993, *Ramírez et al. 5221 (COAH)*. **CAUCA:** Municipio de Muncique, El Tambo, Vereda La Romelia, Parque Nacional Natural Munchique, vía al km 81, 5 jun 1989, *Devia 2759 (TULV)*; Igual localidad, Quebrada Charco Azul, 2570m, 20 jul 1993, *Velayos et al. 6969 (COL)*. **CUNDINAMARCA:** Cabecera río Subia, cerca a El Soche, 2500-2700m, 17 dic 1954, *Idrobo & Jaramillo 1682 (COL)*; Cabrera, Vereda Núñez, 2400-2500m, 25 ago 1985, *Morales et al. 501 (COL)*; igual localidad, 2400m, 28 ago 1985, *Morales et al. 539 (COL)*; San Antonio de Tequendama, Vereda Chicaque, Parque Nacional Montañas de Chicaque, 2160-2400m, 15-ene-1991, *Escallón & Sánchez 102 (COL)*; San Francisco, Vereda Sabaneta, 2600m, feb 1968, *Hirshel s.n. (COL)*. **HUILA:** La Plata, Vereda Agua Bonito, finca Merenberg, 2200-2300m, 21 jul 1975, *Díaz et al. 770 (COL)*; igual localidad, 27 mar 1976, *Steven & Gaulin 120 (COL)*. **MAGDALENA:** Alrededores de Yerbabuena, 2000m, 26 ene 1959, *Romero-C. 7069 (COL)*. **NORTE DE SANTANDER:** Región de Sarare, entre el alto del Loro y el alto de Santa Inés, 1800-2200m, 18 oct 1941, *Cuatrecasas et al. 12404 (COL)*; igual localidad, 10 nov 1989, *Gentry et al. 5468 (COL)*. **QUINDIO:** Municipio Circasia, Vereda Los Pinos, Finca Villa Ligia, 1765m, 28 dic 1989, *Velez et al. 927 (COL)*. **RISARALDA:** entre la Pastora y Ceilán, 2400m, 22 dic 1989, *Franco et al. 2831 (COL)*; La Pastora, Reserva Ucumarí, 2620m, 13 oct 1989, *Gentry et al. 5613 (COL)*;

igual localidad, 2610m, 11 nov 1989, *Gentry et al. 5468 (COL)*; igual localidad, *Gentry et al. 5683 (COL)*. **TOLIMA:** Hoya río Combeima, El Silencio, 2600-2800m, 3 mar 1969, *Cuatrecasas & Echeverry 27634 (COL)*. **VALLE:** El Cairo, 29 dic 1986, *Silverston et al. 2737 (CUVC)*; Finca Zingara, km 18, entre carretera Cali-Buenaventura, km 4 vía Dapa, Corregimiento La Elvira, 1900m, 15 jul 1996, *Giraldo-C. & Corrales 754 (COL)*; Municipio Queremal, km 52, 3 dic 1971, *Mahecha 848 (UDBC)*.

*Ruagea tomentosa* Cuatr., Fieldiana, Bot. 27 (1): 80-81. 1950 Figura 1 (F-K).

**Tipo:** COLOMBIA. VALLE: Hoya del Río Cali, *Cuatrecasas 21988 (Holótipo F-n.v.; isótipo VALLE)*.

Arboles. Corteza grisácea. Ramillas densamente tomentosas. Hojas imparipinnadas, 35-40 cm de largo, raquis terete y peciolas redondos. Pares de folíolos 4-5 por hoja; peciólulos 5-7 mm largo (el peciólulo del folíolo terminal entre 19-26 mm de largo). Folíolos opuestos, oblanceolados, cartáceos, verde mate hasta amarillentos, 8.2-17.6 de largo x 5.9-7.7 cm de ancho, ápice agudo o acuminado, base oblonga hasta cuneada, margen entera, no revoluta; envés densamente pubescente; venas secundarias 14-20 pares arqueadas, poco visibles. Inflorescencia axilar en panícula, 5-10 (-17) cm largo, densamente pubescentes y estriadas. Flor sésil o pedicelada, los pedicelos 2-5 mm largo. Flores pentameras, 10 mm largo, verdosas; cáliz urceolado, los sépalos orbiculares, 1 mm largo, densamente ciliados; pétalos angostamente oblongos, 6-9 mm largo, ápice acuminado, base ancha, glabros; tubo estaminal cilíndrico, glabro, 6.5 mm largo x 3-4 mm ancho, con proyecciones bífidas apicales intercaladas con las anteras, base ensanchada; 10 anteras, 1 mm largo, sésiles, glabras; el pistilo 6.5-7 mm de largo, sobresaliendo con respecto al tubo estaminal; nectario anular glabro rodeando la base del ovario; ovario 3-carpelar, viloso, 2 óvulos por carpelo, piriforme, base amplia, región basal densamente vilosa; estilo glabro; estigma discoide con depresiones en la parte superior central. Fruto subgloboso, 1-1.5 cm largo, marrón claro con lenticelas oscuras y tinte pardo, ápice apiculado, base abruptamente angosta (*Cuatrecasas 1950, Morales-Puentes 1997*).

**Distribución y Hábitat:**

Especie endémica de Colombia. Se distribuye en los departamentos del Valle, Boyacá y Cundinamarca entre los 1750-2260 msnm, en bosque Andino.

Tabla 1. Comparación entre *Ruagea pubescens* Karst. y *R. tomentosa* Cuatr

Carácter	<i>Ruagea pubescens</i> Karst.	<i>Ruagea tomentosa</i> Cuatr.
Ramillas	Pubescentes	Densamente tomentosas
Largo de la hoja	13 - 30 cm	35 - 40 cm
Largo de los peciólulos laterales	2 - 5 mm	5 - 7 mm
Pares de folíolos por hoja	(5-)7-11 (-13)	04-May
Forma del folíolo	Elíptico, obovado a ampliamente obovado	Oblanceolado
Apice del folíolo	Redondo u obtuso	Agudo o acuminado
Margen del folíolo	Fuertemente revoluta	No revoluta
Consistencia	Coriácea	Cartácea
Largo de la inflorescencia	25 - 30 cm	5-10 (-17) cm
Forma del cáliz	Cilíndrico	Urceolado
Forma de los sépalos	Ovados hasta agudos	Orbiculados
Largo de los sépalos	1 - 1.5 mm	1 mm
Indumento de los sépalos	Pubescentes hasta subglabros	Densamente ciliados
Forma de los pétalos	Lanceolados	Angostamente oblongos
Largo de los pétalos	9 mm	6-9 mm
Apice de los pétalos	Agudo hasta redondo	Acuminado
Base de los pétalos	Estrecha	Ancha
Apice del tubo estaminal	Crenado	Corto; bifido intercalado con las anteras
Base del tubo estaminal	Angosta	Ensanchada
Anteras	1.5 - 1.7 mm, con un corto apéndice basal	1 mm, sin apéndice
Longitud del pistilo	7.2 mm	6.5 - 7 mm
Forma del ovario	Elipsoide	Piriforme
Base del ovario	Estrecha	Ensanchada
Indumento del ovario	Glabro	Parte media basal densamente vilosa
Estigma	Sin depresión	Depresión en el centro
Forma del fruto	Globoso	Subgloboso
Apice del fruto	Cortamente estipitado hasta redondo	Apiculado
Base del fruto	Redonda hasta ligeramente aguda	Abruptamente angosta

**Especímenes examinados**

**COLOMBIA. BOYACÁ:** Municipio La Victoria, alto Chapón, carretera hacia Aposentos, 1570m, 27 jul 1984, Orozco et al. 1257 (COL). **CUNDINAMARCA:** Municipio de Sasaima, Vereda San Bernardo, La Marfa entre las quebradas La Marfa y La Victoria, 1750-1948m, 23 ene 1948, García-B. 12557 (COL).

A continuación se presenta una clave con los caracteres más importantes que permiten diferenciar a *Ruagea tomentosa* de *R. pubescens*:

1. Hojas con (5-)7-11(-13) pares de folíolos, 13-30 cm de longitud. Inflorescencias 25-30 cm de largo. Flores con cáliz cilíndrico, sépalos ovados hasta agudos, 1-1.5 cm de largo; ovario glabro ..... *R. pubescens*
1. Hojas con 4-5 pares de folíolos, 35-40 cm de longitud. Inflorescencias 5-10(-17) cm de largo. Flores con cáliz urceolado, sépalos orbiculados, 1 cm de largo; ovario densamente viloso en la porción media basal ..... *R. tomentosa*

Pennington, Styles & Taylor (1981), en su estudio para el neotrópico presentan a *Ruagea tomentosa* como una especie dudosa y muy semejante a *R. pubescens*. Después de la revisión de estos taxones se presenta además de la clave, un cuadro comparativo, donde se contrastan cerca de 28 caracteres los cuales la hacen una especie definida, pese a que su rango altitudinal se sobrepone con *R. pubescens*. Las características más relevantes de *R. tomentosa* son: La hoja es más larga (35-40 cm largo vs. 13-30 cm largo en *R. pubescens*), pecíolulos con mayor longitud (5-7 mm largo vs. 2-5 mm largo en *R. pubescens*), con indumento muy visible (densamente tomentoso vs. pubescente en *R. pubescens*). Igualmente la forma de los

folíolos es homogénea, usualmente oblanceolados con ápice agudo o acuminado, la inflorescencia es corta (5-10 (-17) cm larga vs 25-30 cm larga en *R. pubescens*) y estriada; las flores poseen sépalos orbiculados y con margen densamente ciliada; el tubo estaminal presenta apicalmente apéndices bifidos, que se alternan con las anteras; las anteras presentan proyección apical del conectivo y la parte media basal del ovario es densamente vilosa (Tabla 1, Figura 1 (F-K)).

**Agradecimientos**

Al grupo de Botánica Económica del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia por su apoyo y financiación, especialmente a los profesores Pablo Leyva y Cristina Garzón. Igualmente a los profesores Gustavo Lozano (q.e.p.d.) y Terence Pennington por sus asesorías y correcciones. A los directores de los herbarios: J. L. Fernández (COL), P. Silverston (CUVC), R. Fonnegra (HUA), D. Cárdenas (COAH), W. Devia (TULV), E. Escobar (VALLE) y R. Cortés (UDBC) por permitir la revisión de las colecciones.

**Bibliografía**

- Cuatrecasas, J. 1950. Meliaceae. Studies in South American Plants-II. Fieldiana, Bot. 27(1):80-81.
- Morales-Puentes, M. E. 1997. Estudio de la familia Meliaceae y su potencial de uso para Colombia. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.
- Palacios, W. A. 1994. Especies nuevas de Meliaceae del Ecuador y áreas adyacentes. Novon 4(2):155-164.
- Pennington, T. D., B. T. Styles & D. A. Taylor. 1981. Meliaceae. Fl. Neotrop. Monogr. New York. 28: 1-470.
- Pennington, T. D. & B. T. Styles. 1975. A Generic monograph of the Meliaceae. Blumea 22: 419-540.



# PERFILES VERTICALES DE TEMPERATURA EN UNA ATMOSFERA SEMIGRIS CON UNA CAPA DE NUBES<sup>1</sup>

por

Joaquín Pelkowski\* & Juan Carlos Anduckia Avila\*\*

## Resumen

**Pelkowski, J. & J.C. Anduckia:** Perfiles verticales de temperatura en una atmósfera semigris con una capa de nubes. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **24**(93): 505-520, 2000. ISSN 0370-3908.

Se establecen perfiles verticales de temperatura para una atmósfera semigris y de tres capas paralelas utilizando la hipótesis de equilibrio radiativo. La aproximación contiene el efecto invernadero, el esparcimiento en una dirección por una capa de nubes y la reflexión (isotrópicamente difusa) en la superficie planetaria. Tiene en cuenta también la absorción de radiación de onda corta en una de las tres capas, y extiende el trabajo realizado por uno de los autores.

**Palabras clave:** atmósferas planetarias, perfiles de temperatura, equilibrio radiativo.

## Abstract

We extend earlier models of planetary layers in radiative equilibrium by including scattering within a homogeneous cloud layer in a single direction. The atmospheric layers above and below the cloud layer are taken to be in radiative equilibrium, whose temperature profiles may be calculated. Though the resulting profile, being discontinuous, is unrealistic, the model adds to the effects of the earlier models a cloud albedo, resulting from the scattering of short-wave radiation.

**Key words:** planetary atmospheres, temperature profiles, radiative equilibrium.

\* Profesor Asociado, Departamento de Geociencias-Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia, jpelko@ciencias.unal.edu.co

\*\* Grupo de Investigación en Meteorología, Departamento de Geociencias-Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia, janducki@uniandes.edu.co.

<sup>1</sup> Trabajo realizado dentro del marco del Grupo de Investigaciones en Meteorología - U.N., que cuenta con el apoyo financiero de COLCIENCIAS y el BID, contrato COLCIENCIAS-U.N. No.391/99. Forma parte de los resultados del Proyecto de Investigación apoyado por COLCIENCIAS y el BID "Proyecciones climáticas e impactos socioeconómicos del cambio climático en Colombia", contrato COLCIENCIAS-U.N. No.321-98.

## 1. Introducción

La Tierra, como otros sistemas planetarios, se encuentra en un estado de equilibrio energético que depende del flujo incidente de radiación solar <sup>2</sup>. Dicho equilibrio es sensible a variaciones en el valor del flujo, pudiendo resultar épocas de intenso calor, épocas intermedias y épocas en las cuales la cubierta de hielo avanza significativamente, llamadas glaciaciones. El Sol, una estrella de tipo espectral G2, es la fuente de esta energía y se puede considerar como un *cuerpo negro*, que se mantiene mediante reacciones termonucleares a una temperatura efectiva cercana a 5800 K. Esta temperatura, llamada también de *brillo* (*brightness temperature*), es característica de la fotosfera solar. El balance energético resultante para la Tierra, bien conocido, resulta en una temperatura efectiva de 255 K (-18°C).

La atmósfera, junto con los océanos (hidrosfera), la cubierta sólida (litosfera y biosfera) y los glaciares (criosfera), son los elementos de un sistema climático. Aquí nos interesaremos sólo por la primera.

La mayor parte de la energía que recibe la atmósfera es suministrada en forma de radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre (radiación de cuerpo negro), que a su vez la absorbe como radiación de onda corta (solar) y de onda larga atmosférica (nubes y gases traza). Las transferencias de energía desde la superficie son una fuente de calor atmosférica, mientras que el enfriamiento infrarrojo en la troposfera media constituye un sumidero para la atmósfera.

En una escala climatológica, necesaria para que se haya llevado a cabo la redistribución de energía solar en la atmósfera (del orden de 6 días en la Tierra, de 0.14 días en Marte), el sistema Tierra con su atmósfera se considera en equilibrio térmico, de manera que la energía recibida o incidente debe igualar a la energía emitida por aquél.

Esta suposición es equivalente a un equilibrio radiativo global en el que la Tierra absorbe cerca de 70% de la energía solar incidente y refleja el 30% restante por albedo o poder reflectivo. El valor actual de este albedo global o planetario, promediado globalmente, es cercano a  $A_0 = 0.3$  (Hartmann, 1994).

Asimismo, todos los planetas del sistema solar exhiben un gradiente de temperatura en sus envolturas gaseosas (Fig.1). Si se prescinde de considerar procesos de trans-

ferencia energética que no sean debidos a la propagación de energía electromagnética y se supone que volúmenes infinitesimales absorben la misma cantidad de energía electromagnética que la que emiten, representando por tanto estados en equilibrio, se tienen las bases de los modelos denominados de "equilibrio radiativo local".

En una contribución anterior (Pelkowski, 1998), bajo las hipótesis mencionadas, se habían calculado perfiles verticales de temperatura para la atmósfera terrestre libre de nubes y para el océano. El objetivo del presente desarrollo será extender la parte atmosférica calculando perfiles verticales para una atmósfera que contiene una capa continua de nubes.

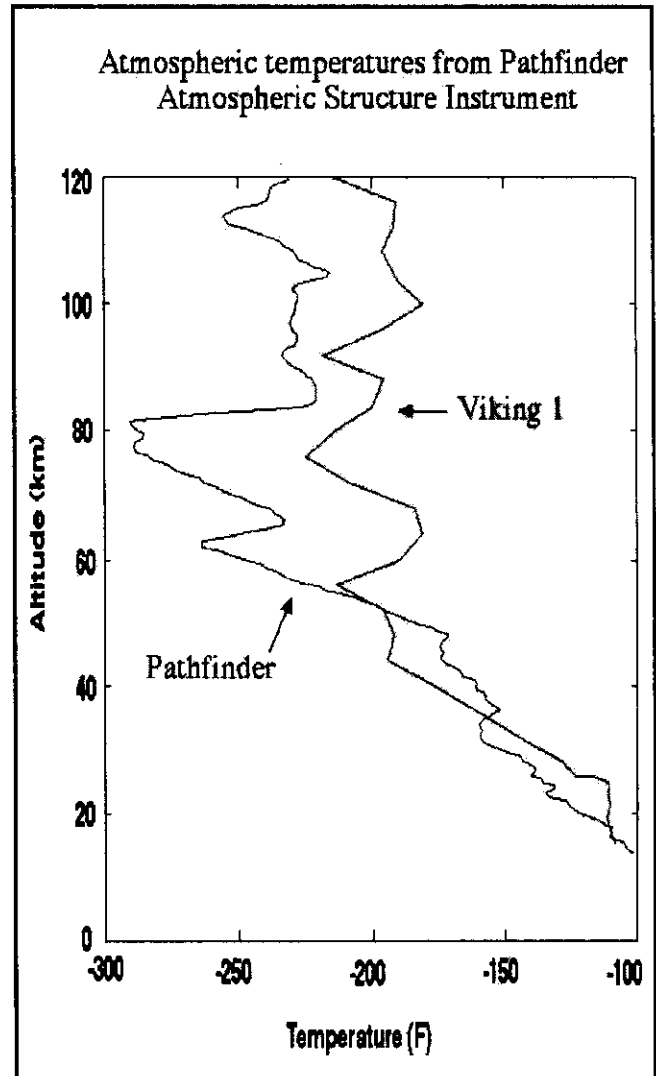


Figura 1. Temperaturas atmosféricas marcianas según las misiones Viking y Pathfinder

<sup>2</sup> Ni Júpiter ni Saturno cumplen con esta propiedad debido a que se presume poseen fuentes internas de energía.

## 2. Supuestos y modelo

El modelo de equilibrio radiativo local que elegiremos supone coeficientes de absorción independientes de la longitud de onda, supuesto que se conoce como *emisión gris* en la teoría de la radiación. Puesto que la atmósfera terrestre deja pasar una fracción importante de la radiación solar, pero no toda<sup>3</sup>, es razonable, como una primera aproximación y simplificación, suponer que el coeficiente de absorción del planeta tiene dos valores no nulos en el visible y en el infrarrojo, esto es, que la atmósfera es *semigris*. Para tener en cuenta la fracción de energía solar absorbida por la atmósfera (unos 20% de la incidente), se supone un coeficiente de absorción respecto de ondas cortas, que represente una fracción de la fuerte absorción en el infrarrojo.

Además de estas simplificaciones físicas, se considera que la atmósfera está compuesta de capas planas y paralelas. Dichas capas se caracterizan por su homogeneidad horizontal y por la isotropía horizontal del campo de radiación, de manera que cualquier variable dependiente sólo puede variar espacialmente en dirección perpendicular a la capa. Se trata entonces de una atmósfera de espesor suficientemente delgado, comparado con el radio del planeta correspondiente (Figs. 2-3).

El modelo para una atmósfera sin nubes y con reflexión en superficie, suponiendo reflexión isótropa de los rayos incidentes, fue resuelto por Pelkowski (1998). Se pretende aquí incorporar el *esparcimiento*<sup>4</sup> por una capa *continua* de nubes y la reflexión de energía solar en la superficie de la Tierra, como se indica en la Fig. 3.

El esparcimiento de la radiación visible, responsable de los colores diurnos, especialmente del azul celeste, es un problema de difícil tratamiento matemático. En nuestro caso, siguiendo las indicaciones de Houghton (1986), llegamos a ecuaciones susceptibles de soluciones analíticas, obtenidas como un caso particular de la expresión general del esparcimiento. Anulando el albedo de la superficie, el albedo de la capa de nubes y el coeficiente de absorción en el visible, se reconstituyen los modelos anteriores.

De acuerdo con el modelo atmosférico esbozado, se pueden considerar como dos cantidades fundamentales en el tratamiento de la transferencia radiativa atmosférica a los flujos de radiación ascendente y descendente (Pelkowski, 1998):

$$F^{\uparrow}(\tau) = 2\pi \int_0^{\infty} \int_0^1 I_{\lambda}(\tau, \mu) \mu d\mu d\lambda \quad (1)$$

$$F^{\downarrow}(\tau) = -2\pi \int_0^{\infty} \int_{-1}^0 I_{\lambda}(\tau, \mu) \mu d\mu d\lambda$$

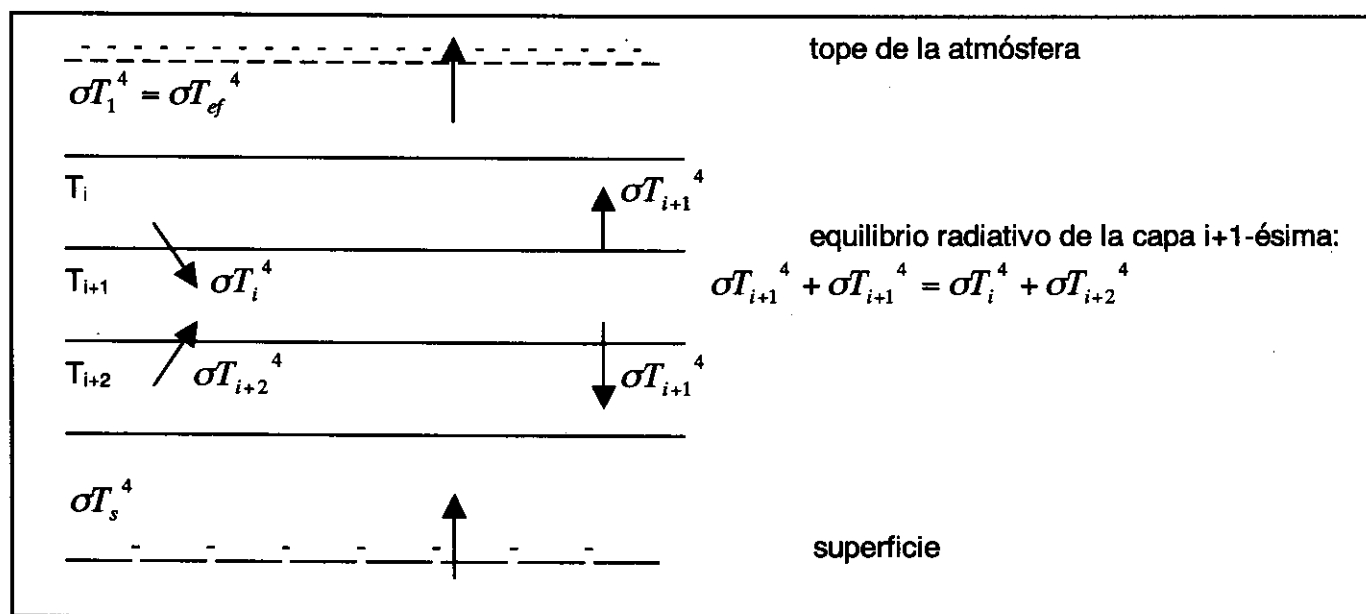


Figura 2. Modelo de capas

<sup>3</sup> El ozono, por ejemplo, absorbe radiación ultravioleta en bandas de 200 a 300 nm.

<sup>4</sup> Llamado a veces también "dispersión" o "difusión", utilizaremos la palabra "esparcimiento" para no confundirlo con el proceso físico de dispersión cromática de la luz blanca, o con el de difusión de contaminantes en la atmósfera.

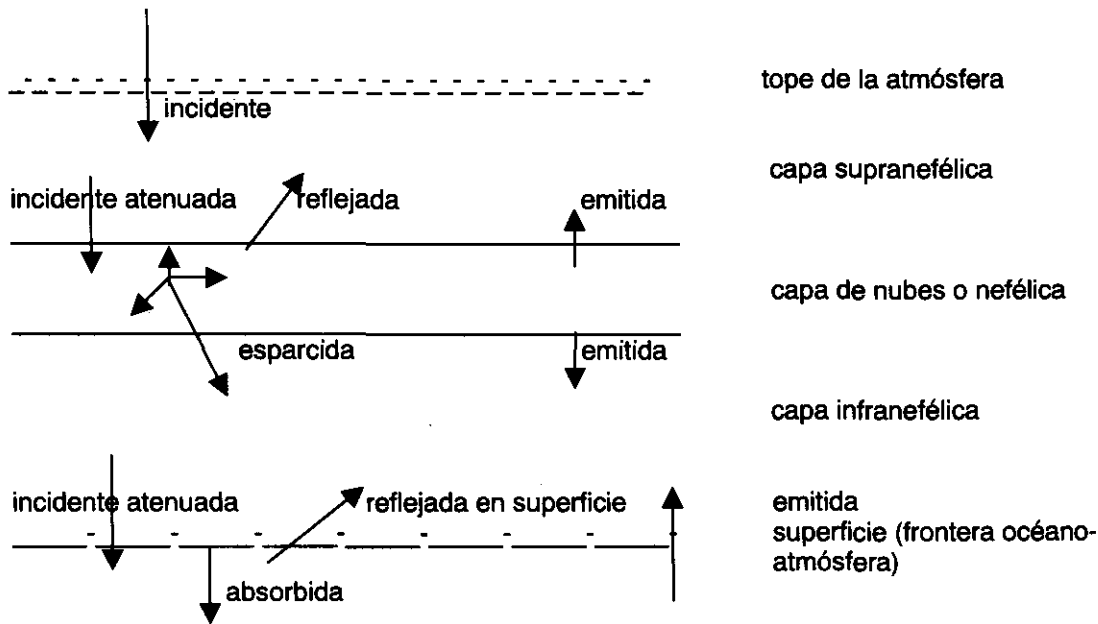


Figura 3. Procesos atmosféricos considerados

Estos flujos se obtienen realizando integraciones hemisféricas de la *intensidad* o *radiancia monocromática* del campo de radiación  $I_\lambda = I_\lambda(x, y, z, \theta, \varphi, t)$ , que depende de la longitud de onda (índice  $\lambda$ ), de la posición en el espacio  $(x, y, z)$  por la cual está pasando la onda electromagnética, de la dirección  $(\theta, \varphi)$  de dicha onda, y del tiempo  $t$ . Bajo el supuesto de la atmósfera estratificada de las Figs. 2-3, no hay variación de intensidad en el plano horizontal ( $\partial I_\lambda / \partial x = 0; \partial I_\lambda / \partial y = 0$ ), lo cual implica que la intensidad es independiente del ángulo acimutal  $\varphi$ . De modo que en una atmósfera estratificada y en la que las variaciones temporales de la radiancia son despreciables, como es el caso de la atmósfera terrestre, la intensidad monocromática se reduce a una función de tres variables  $I_\lambda(z, \theta)$ .

La condición de equilibrio radiativo en términos de estos flujos para cualquier estrato atmosférico implica la constancia de  $F$ :

$$F = F^\downarrow - F^\uparrow = \text{constante} \quad (2)$$

$F > 0$  indica que la capa inferior recibe energía neta;  $F < 0$  implica pérdida de energía radiante.

Al atravesar la atmósfera, la intensidad de la radiación experimenta cambios descritos por la ecuación diferencial conocida como "ecuación de transferencia radiativa":

$$\frac{dI_\lambda}{dr} = -\rho k_\lambda I_\lambda + \eta_\lambda \quad (3)$$

El primer término del miembro derecho representa el debilitamiento por absorción de la intensidad que se propaga a lo largo de un "rayo de luz", cuya longitud puede describirse mediante el parámetro de arco  $r$  (ley de Lambert-Bouguer). El segundo representa las fuentes de intensificación de la energía de un rayo monocromático dentro del medio material. La función  $\eta_\lambda$  tiene en cuenta la emisión y el esparcimiento atmosféricos; dividida por el factor  $\rho k_\lambda$ , se denomina "función fuente"  $J_\lambda$ . Si el medio se encuentra en equilibrio termodinámico y no hay esparcimiento, la emisión se describe espectralmente mediante la función de Planck  $B_\lambda(T)$ , de modo que  $\eta_\lambda = \rho k_\lambda B_\lambda(T)$ , la ley de

Kirchhoff. Se suele emplear como función fuente a esta expresión, aun cuando la atmósfera en conjunto jamás se encuentra en equilibrio térmico. Se postula entonces que *localmente* se dan las condiciones del equilibrio térmico, y se obtiene así la ecuación de transferencia radiativa:

$$\frac{dI_\lambda}{dr} = \vec{\omega} \cdot \nabla I_\lambda = \rho k_\lambda (B_\lambda - I_\lambda) \quad (4)$$

Esta es la ecuación básica de la teoría de transferencia radiativa, siempre que sea lícito descartar el esparcimiento de los rayos electromagnéticos, es decir, cuando éstos no son desviados de sus trayectorias de propagación, bien sea por moléculas (esparcimiento de Rayleigh) o por partículas en suspensión (esparcimiento de Mie).

Puesto que el modelo no admite dependencia horizontal de campos, el operador en cuestión se reduce a  $\frac{dI_\lambda}{dr} = \mu \frac{\partial I_\lambda}{\partial z}$ , donde  $\mu = \cos\theta$  es el coseno del ángulo cenital, o componente vertical del vector unitario de propagación del haz de radiación  $\vec{\omega}$ .

### 3. Profundidad óptica

Las variaciones en la transparencia atmosférica pueden influenciar a largo plazo cambios en la transferencia radiativa. Estas variaciones se reflejan en la *profundidad óptica*, que se define como la integral:

$$\tau_\lambda(z) = \int_z^{H_1} \rho k_\lambda dz' \quad (5)$$

Esta nueva variable *independiente* tiene en cuenta tanto la cantidad de materia absorbente por unidad de área ( $\int \rho dz'$ ,  $\rho$ : densidad de los gases atmosféricos absorbentes),

como la capacidad de absorción (a través del coeficiente de absorción  $k_\lambda$ ).  $H_1$  representa la altura de la frontera superior de la atmósfera, y  $\tau(0) = \tau_b$  es la *profundidad óptica* de toda la capa en cuestión. Las profundidades ópticas  $\tau_\lambda$  suelen ser funciones espectrales bastante irregulares, lo que dificulta el tratamiento analítico. Para dar una descripción completa debería conocerse la estructura de bandas de los distintos componentes atmosféricos sumados, lo cual está por fuera de los límites de este trabajo, así que supondremos que  $k$  es constante a lo largo de todo el espectro.

Con la introducción de la profundidad óptica independiente de la longitud de onda, la ecuación de transferencia radiativa se puede expresar como una ecuación diferencial no lineal de primer orden en el "espacio óptico", llamada ecuación de Schwarzschild:

$$\mu \frac{dI_\lambda}{d\tau} = I_\lambda(\tau, \mu) - B_\lambda(\tau) \quad (6)$$

En ella la función fuente depende de la profundidad óptica, a través de la temperatura que aparece en la función de Planck, cuya distribución vertical se puede representar en términos de  $\tau$ . Esta composición funcional es muy útil en el presente tratamiento pues para cada relación entre la profundidad óptica y la altura atmosférica, es posible deducir el perfil de temperatura correspondiente.

A modo de ilustración, en una atmósfera como la de Venus, en la cual la temperatura superficial es cercana a 750 K, y con temperaturas medidas de 230 K en el tope de su atmósfera, la profundidad óptica resulta ser igual a 224. En el caso terrestre la profundidad óptica es cercana a la unidad, con una temperatura superficial cercana a 288 K y efectiva de 255 K. La Tabla 1 presenta esta situación (los datos de temperatura son tomados de Houghton, 1986; el cálculo de la profundidad es nuestro).

Tabla 1. Profundidades ópticas de algunos planetas interiores

Planet a	Temperatura superficial [K]	Temperatura efectiva observada [K]	Características atmosféricas	Profundidad óptica
Venus	750	230	90% CO <sub>2</sub> , cubierta completa, nubes de azufre	224
Tierra	280	250	78% N <sub>2</sub> , 21% O <sub>2</sub> , cubierta parcial (50%), nubes de H <sub>2</sub> O	1.15
Marte	240	220	80% CO <sub>2</sub> , nubes tenues de H <sub>2</sub> O	0.83

Las temperaturas efectivas que figuran en la Tabla 1, se basan en mediciones radiométricas de la radiación emitida por el planeta, y se obtienen mediante la ley de Stefan-Boltzmann.

En una atmósfera *gris* se supone que el coeficiente de absorción no depende de la frecuencia de la radiación, sea ésta incidente o emitida, así que en lugar de infinitos valores de la profundidad óptica, se opera con un solo valor promedio, constante a lo largo de todo el espectro, o, en un caso más general como el propuesto aquí, con dos valores representativos de las características distintas de la absorción en el visible y el infrarrojo.

Se designará a la profundidad óptica en la región espectral de las ondas largas (el infrarrojo) con las letras  $\tau_u$  para la capa supranefélica<sup>5</sup> (arriba de las nubes), y  $\tau_l$  para la capa infranefélica (debajo de las nubes). En el visible se usarán los símbolos  $\tau_{\theta u}$  y  $\tau_{\theta l}$ , respectivamente, y se supondrá que ambas profundidades son proporcionales (Goody & Yung, 1989):

$$\tau_{\theta u} = \varepsilon_u \tau_u, \quad \tau_{\theta l} = \varepsilon_l \tau_l \quad (7)$$

Si  $\varepsilon_u \neq 0$ , se tiene el caso de la absorción semigris en la capa supranefélica. Si  $\varepsilon_u = 1$  se tiene el caso de la absorción gris, y análogamente para la capa infranefélica. Para simplificar un poco el desarrollo se supondrá en este trabajo  $\varepsilon_l = 0$ . Aunque el resultado es menos general, las ecuaciones resultantes son menos complicadas. La suposición implica que no hay absorción de radiación solar en la capa infranefélica.

#### 4. Separación de ondas cortas y largas

Puesto que los espectros de la energía solar incidente y de la energía telúrica emergente corresponden a temperaturas muy distintas (5780 K y 255 K, respectivamente), al promediarse con respecto a las distintas direcciones de propagación posibles, se traslapan en un pequeño intervalo. Este hecho permite separar el flujo total de radiación en flujos de onda corta o solar, centrada alrededor de  $0,5 \mu\text{m}$ , designados por  $Q(\tau)$ , y flujos infrarrojos que resultan de integrar el espectro de ondas largas (alrededor de  $10 \mu\text{m}$ ), designados por  $R(\tau)$ . Las flechas indican dirección descendente ( $\downarrow$ ) y ascendente ( $\uparrow$ ) en cualquier capa. El flujo total es entonces

$$F(\tau) = Q(\tau) + R(\tau) = Q^\downarrow(\tau) - Q^\uparrow(\tau) + R^\downarrow(\tau) - R^\uparrow(\tau) \quad (8)$$

Se puede calcular el balance de la radiación total en un nivel determinado de la profundidad  $\tau$ , si se conoce o se supone alguna relación válida para  $\tau(z)$ , la profundidad óptica atmosférica a la altura  $z$ .

#### 5. Ondas cortas

Para calcular el flujo de radiación solar, teniendo en cuenta que no hay fuentes atmosféricas de radiación solar, nótese que en la ecuación de transferencia radiativa la función fuente se anula. Para cualquier nivel en la capa absorbente en el visible (para el caso, la supranefélica) la solución es inmediata<sup>6</sup>:

$$Q^\downarrow(\tau_u) = \mu_{\theta 0} Q_0 e^{-\varepsilon_u \tau_u / \mu_{\theta 0}} \quad (9)$$

El flujo ascendente de radiación solar, puesto que la reflexión es isotrópicamente difusa tanto en el tope de la capa de nubes como en superficie, está dado por<sup>7</sup> (Pelkowski, 1998):

$$\begin{aligned} Q_u^\uparrow(\tau_u) &= \int_0^{2\pi} \int_0^1 I_\lambda^\theta(\tau_u, \mu) e^{-\varepsilon_u(\tau_u - \tau_u) / \mu_{\theta 0}} \mu d\mu d\varphi = 2r_o Q^\downarrow(\tau_u) E_3(\varepsilon_u(\tau_u - \tau_u)) \\ Q_l^\uparrow(\tau_l) &= \int_0^{2\pi} \int_0^1 I_\lambda^\theta(\tau_l, \mu) e^{-\varepsilon_l(\tau_l - \tau_l) / \mu_{\theta 0}} \mu d\mu d\varphi = 2r_o Q^\downarrow(\tau_l) E_3(\varepsilon_l(\tau_l - \tau_l)) \end{aligned} \quad (10)$$

Si  $\varepsilon_l = 0$ , la cantidad en superficie se reduce a:

$$Q_l^\uparrow(\tau_b) = 2r_o Q^\downarrow(\tau_b) E_3(0).$$

Puesto que  $E_3(0) = \frac{1}{2}$ , se tiene  $Q_l^\uparrow(\tau_b) = r_o Q^\downarrow(\tau_b)$ , tal como sucede siempre que la radiación reflejada atraviese inalterada la capa atmosférica correspondiente.

<sup>6</sup>  $Q_0$  es la denominada constante solar y su valor es de  $1370 \text{ Wm}^{-2}\text{s}^{-2}$ . El ángulo cenital promedio  $\mu_{\theta 0}$  varía según las efemérides terrestres y es distinto para los distintos planetas del sistema solar y para diferentes inclinaciones del sol, pero aquí trabajaremos con un valor promedio igual a 0.25.

<sup>7</sup> Las funciones  $E_n(x)$  son llamadas *integrales exponenciales (de orden n)*.

<sup>5</sup> De Néfele, divinidad griega de las nubes.

El flujo neto de radiación solar hacia la capa atmosférica situada por debajo de la altura correspondiente

$$\begin{aligned} Q(\tau_u) &= Q^\downarrow(\tau_u) - Q^\uparrow(\tau_u) = Q^\downarrow(\tau_u = 0) \left[ e^{-\varepsilon_u \tau_u / \mu_0} - 2r_c e^{-\varepsilon_u \tau_{ub} / \mu_0} E_3(\varepsilon_u(\tau_{ub} - \tau_u)) \right] && \text{supranefélica} \\ Q(\tau_l) &= Q^\downarrow(\tau_l) - Q^\uparrow(\tau_l) = Q^\downarrow(\tau_l = 0) \left[ e^{-\varepsilon_l \tau_l / \mu_0} - 2r_o e^{-\varepsilon_l \tau_{lb} / \mu_0} E_3(\varepsilon_l(\tau_{lb} - \tau_l)) \right] && \text{infranefélica. (11)} \end{aligned}$$

## 6. Cálculo del albedo planetario

Para calcular el albedo global planetario obsérvese nuevamente (Fig.3) el modelo atmosférico considerado, recordando que la cubierta de nubes es continua. Primero se intentará hallar una expresión para la cantidad de radiación solar que llega a la superficie planetaria. En el tope de la atmósfera incide  $Q^\downarrow(0)$ , definida por la ecuación (9). En el tope de la capa de nubes se recibe  $t_u Q^\downarrow(0)$ , donde para simplificar  $t_u = e^{-\varepsilon_u \tau_{ub} / \mu_0}$  representa la transmisividad de la radiación solar directa en la capa supranefélica. Se transmite a la capa infranefélica una cantidad  $t_c t_u Q^\downarrow(0)$ . Incide por "primera vez" sobre la superficie una cantidad  $t_l t_c t_u Q^\downarrow(0)$ , donde  $t_l$  representa la transmisividad para la radiación solar directa descendente en la capa infranefélica.

Para la capa de nubes se supondrá que no hay diferencia entre las transmisividades respecto de la radiación solar directa descendente y la radiación solar difusa ascendente, por tanto  $t_c^\downarrow = t_c^\uparrow = t_c$ . Así mismo, el albedo es idéntico para la radiación de onda corta que incide sobre el tope (radiación solar directa) que para aquella que incide sobre la base (radiación solar difusa). Estos dos parámetros, transmisividad y albedo de las nubes, se calculan más adelante.

La primera reflexión de la radiación incidente en superficie da lugar a sucesivas incidencias en superficie, debido a que parte es reflejada nuevamente por las nubes hacia la superficie. En el tratamiento de estas múltiples reflexiones es necesario tener en cuenta que, puesto que la reflexión es isotrópicamente difusa, la transmisividad es ahora como en las ecuaciones (10), y como recordatorio se utiliza el subíndice d.

La primera reflexión en superficie es entonces  $r_o t_l t_c t_u Q^\downarrow(0)$ . Incide desde abajo sobre la base de la nube una cantidad  $t_{ld} r_o t_l t_c t_u Q^\downarrow(0)$ , donde  $t_{ld} = 2E_3(\varepsilon_l(\tau_{lb} - \tau))$ .

a la profundidad  $\tau$  es entonces igual a la diferencia de los flujos descendente y ascendente:

Se refleja hacia la superficie  $r_c t_{ld} r_o t_l t_c t_u Q^\downarrow(0)$ . Incide por segunda vez sobre la superficie una cantidad  $t_{ld} r_c t_{ld} r_o t_l t_c t_u Q^\downarrow(0) = r_c t_{ld}^2 r_o t_l t_c t_u Q^\downarrow(0)$ . Iterando este procedimiento, la tercera incidencia en superficie resulta ser  $r_c^2 t_{ld}^4 r_o^2 t_l t_c t_u Q^\downarrow(0)$ , y así sucesivamente. Sumando todos estos términos se tiene entonces la cantidad de radiación total incidente en superficie  $Q_s$ :

$$Q_s = t_l t_c t_u Q^\downarrow(0) + r_c t_{ld}^2 r_o t_l t_c t_u Q^\downarrow(0) + r_c^2 t_{ld}^4 r_o^2 t_l t_c t_u Q^\downarrow(0) + \dots$$

Recordando que  $\sum_{n=0}^{\infty} x^n = \frac{1}{1-x}$ , con  $x < 1$ , la suma anterior resulta ser:

$$Q_s = t_l t_c t_u Q^\downarrow(0) [1 + r_c r_o t_{ld}^2 + r_c^2 r_o^2 t_{ld}^4 + \dots] = \frac{t_l t_c t_u}{1 - r_c r_o t_{ld}^2} Q^\downarrow(0)$$

La cantidad de energía que escapa, por reflexión, de la atmósfera puede obtenerse a partir de la expresión anterior considerando su: reflexión en superficie, atenuación en la capa infranefélica, transmisión ascendente en la nube y atenuación en la capa supranefélica, y sumando la primera y única reflexión en la capa de nubes, a su vez atenuada al ascender y escapar. Entonces la energía total reflejada al espacio es:

$$Q_r = t_u r_c t_{ud} Q^\downarrow(0) + r_o t_{ld} t_c t_{ud} Q_s = t_u r_c t_{ud} Q^\downarrow(0) + \frac{r_o t_l t_{ld} t_c^2 t_u t_{ud}}{1 - r_c r_o t_{ld}^2} Q^\downarrow(0)$$

El albedo global es entonces

$$A = \frac{Q_r}{Q^\downarrow(0)} = t_u r_c t_{ud} + \frac{r_o t_l t_{ld} t_c^2 t_u t_{ud}}{1 - r_c r_o t_{ld}^2} \quad (12)$$

una función complicada del albedo superficial  $r_o$  y del albedo de las nubes  $r_c$ .



Habiendo considerado el flujo de radiación solar, que es un flujo asociado sobre todo con radiación de onda corta, hay que considerar la radiación de onda larga, radiación que corresponde a la temperatura del planeta y es llamada infrarroja. Por lo general, las atmósferas planetarias absorben esta radiación con mayor eficacia que la radiación solar, de modo que pueden considerarse en el infrarrojo como ópticamente opacas. Pero antes se hace necesario el tratamiento del esparramiento por una capa de nubes.

### 7. Esparramiento dentro de una capa de nubes

Al incluir el esparramiento en la descripción de la transferencia radiativa para el caso de independencia acimutal de la radiación, la ecuación (3), luego de integrar sobre todo el espectro, toma la forma siguiente:

$$\mu \frac{dI}{d\tau} = I - J \quad (13)$$

donde ahora la función fuente  $J$  viene dada por (Salby, 1996; Liou, 1980):

$$J = (1 - \omega)B + \frac{\omega}{2} \int_{-1}^1 P(\mu, \mu') I d\mu' \quad (14)$$

La función  $P(\mu, \mu')$  representa la distribución angular de energía esparcida desde una dirección  $\mu$  a una  $\mu'$ ; es por tanto una función de fase normalizada de acuerdo con  $\frac{1}{2} \int_{-1}^1 P(\mu, \mu') d\mu' = 1$ . Si se adopta una convención famosa en este tipo de tratamiento, conocida como hipótesis de Eddington, según la cual las intensidades de la radiación son hemisféricamente isotrópicas, se puede definir una intensidad incidente en el tope de la capa nubosa como  $I^-(\tau_c = 0) = \frac{Q^+(0)}{\pi}$ , de modo que la transmisividad de la capa de nubes ha de interpretarse como una transmisividad de radiación difusa, y no de radiación directa.

Definiendo la siguiente función de fase (Anduckia & Pelkowski, 2000):

$$P(\mu, \mu') = 2[f\delta(1-\mu) + (1-f)\delta(1+\mu)]H(\mu) + 2[f\delta(1+\mu) + (1-f)\delta(1-\mu)][1-H(\mu)] \quad (15)$$

donde  $H(\mu)$  es la función de Heaviside (o "escalón unitario"), igual a la unidad para valores positivos del argumento e igual a cero para los negativos, y siendo  $\delta$  la función delta de Dirac definida por su efecto en una integral, para cualquier función  $g$ :

$$\int_{-1}^1 g(\mu)\delta(1 \pm \mu)d\mu = g(\mu \pm 1) \quad (16)$$

Efectuando ahora la integración de la ecuación (13) respecto a  $\mu$  con la función de fase definida anteriormente en la función fuente, y distinguiendo los casos  $\mu > 0$  y  $\mu < 0$ , se obtienen las ecuaciones para los flujos ascendentes y descendentes de radiación solar:

$$\begin{aligned} \frac{dQ^+}{d\tau} + Q^+ &= (1-\omega)\pi B + \omega[fQ^+ + (1-f)Q^+] \\ -\frac{dQ^+}{d\tau} + Q^+ &= (1-\omega)\pi B + \omega[(1-f)Q^+ + fQ^+] \end{aligned} \quad (17)$$

Despreciando la emisión de ondas cortas en la capa, las ecuaciones son<sup>8</sup>:

$$\begin{aligned} \frac{dQ^+}{d\tau} + Q^+ &= \omega[fQ^+ + (1-f)Q^+] \\ -\frac{dQ^+}{d\tau} + Q^+ &= \omega[(1-f)Q^+ + fQ^+] \end{aligned} \quad (18)$$

donde  $\omega = \frac{\sigma}{\sigma + k}$  es el "albedo de esparramiento simple", expresado en términos de los coeficientes  $\sigma, k$  de esparramiento y de absorción respectivamente;  $f$  es la fracción de radiación esparcida hacia adelante ( $0 \leq f \leq 1$ ). Para esparramiento isotrópico debe tenerse  $f = \frac{1}{2}$ .

Con  $\frac{dQ}{d\tau} = \dot{Q}$ , las ecuaciones anteriores se escriben apropiadamente:

$$\begin{aligned} \dot{Q}^+ &= (\omega f - 1)Q^+ + \omega(1-f)Q^+ \\ -\dot{Q}^+ &= \omega(1-f)Q^+ + (\omega f - 1)Q^+ \end{aligned}$$

<sup>8</sup> La forma completa de las ecuaciones con tratamiento del esparramiento puede consultarse en Salby (1996).

En forma matricial se escribe:

$$\begin{bmatrix} \dot{Q}^\downarrow \\ \dot{Q}^\uparrow \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & -a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q^\downarrow \\ Q^\uparrow \end{bmatrix}$$

donde  $a = \omega f - 1$ ,  $b = \omega(1 - f)$ .

El polinomio característico de esta matriz es  $p(\alpha) = \alpha^2 - (\omega f - 1)^2 + \omega^2(1 - f)^2$  y un poco de trabajo algebraico sobre  $p(\alpha) = 0$  lleva a los valores propios dados por  $\alpha^2 = (1 - \omega)(1 + \omega - 2\omega f)$ . Dos vectores

propios para este sistema son de la forma  $\begin{bmatrix} -\beta \\ 1 \end{bmatrix}$ ,  $\begin{bmatrix} 1 \\ -\beta \end{bmatrix}$ ,

donde  $\beta = -\frac{\alpha - 1 + \omega f}{\omega(1 - f)}$ .

Se llega así a las soluciones:

$$\begin{aligned} Q^\downarrow &= Ce^{-\alpha\tau} - \beta De^{\alpha\tau} \\ Q^\uparrow &= -\beta Ce^{-\alpha\tau} + De^{\alpha\tau} \end{aligned} \quad (19)$$

Esta solución general puede simplificarse si se considera el caso de esparcimiento conservativo, que corresponde al límite  $\omega = 1$ . En dicho caso es inmediato notar que las ecuaciones (18) se reducen:

$$\begin{aligned} \frac{dQ^\downarrow}{d\tau} + (Q^\downarrow - Q^\uparrow)(1 - f) &= 0 \\ \frac{dQ^\uparrow}{d\tau} + (Q^\downarrow - Q^\uparrow)(1 - f) &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Aprovechando que el flujo es constante e igual a  $c$ , y llevando a cabo las integraciones respectivas se tienen las igualdades:

$$\begin{aligned} Q^\downarrow(\tau_c) &= Q^\downarrow(\tau_c = 0) - c(1 - f)\tau_c \\ Q^\uparrow(\tau_{cb}) &= Q^\uparrow(\tau_c) - c(1 - f)(\tau_{cb} - \tau_c) \end{aligned} \quad (21)$$

Las condiciones de frontera se obtienen de manera análoga a como se obtuvo la ecuación (12) para el albedo global en el apartado anterior, esto es, sumando todas las contribuciones reflejadas e incidentes sobre el tope y la base de la capa nubosa; son las siguientes:

$$Q^\downarrow(\tau_c = 0)$$

$$Q^\downarrow(\tau_{cb}) = \frac{t_c}{1 - r_o r_c} Q^\downarrow(\tau_c = 0)$$

$$Q^\uparrow(\tau_c = 0) = (r_c + \frac{r_o t_c^2}{1 - r_o r_c}) Q^\downarrow(\tau_c = 0)$$

$$Q^\uparrow(\tau_{cb}) = \frac{r_o t_c}{1 - r_o r_c} Q^\downarrow(\tau_c = 0)$$

(21)

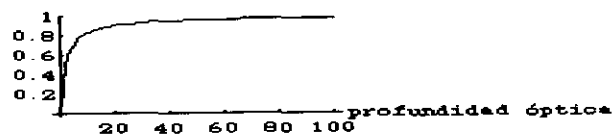
Estas condiciones permiten la búsqueda de los valores de *transmisividad* y *albedo* para la capa nubosa<sup>9</sup>, que resultan ser:

$$\begin{aligned} r_c &= \frac{(1 - f)\tau_{cb}}{1 + (1 - f)\tau_{cb}} \\ t_c &= \frac{1}{1 + (1 - f)\tau_{cb}} \end{aligned} \quad (23)$$

donde  $r_c + t_c = 1$  puesto que  $\omega = 1$  y no hay emisión en la nube, es decir el caso de esparcimiento conservativo.  $\tau_{cb}$  es la profundidad óptica de la nube en el visible. Si se puede ajustar un valor climatológico para el albedo de la nube, entonces se puede determinar la profundidad óptica.

En la Fig. 4 se reproduce, en dos casos posibles del esparcimiento (isotrópico y hacia delante), el comportamiento del albedo de la nube como función de su profundidad óptica, de acuerdo con la ecuación (23).

albedo nube ( $\tau = 0.5$ )



**Figura 4.** Valor del albedo de la capa de nubes en función de su profundidad óptica para esparcimiento isotrópico

<sup>9</sup> Los valores de transmisividad y albedo de la capa de nubes son los mismos que los obtenidos en el caso en que no hay contribución reflejada que incide en la base de la nube (Houghton, 1986), indicando que la transmisividad y el albedo son independientes de la reflexión en superficie en el caso de esparcimiento conservativo.

## 8. Ondas largas

Se definen flujos infrarrojos  $R^{\downarrow}, R^{\uparrow}$  de la misma manera que en la ecuación (1), con  $R(\tau) = R^{\downarrow}(\tau) - R^{\uparrow}(\tau)$ . Si las intensidades con ángulos cenitales menores que  $\pi/2$  (de cosenos positivos) se llaman  $I^+$  y aquellas con ángulos cenitales mayores que  $\pi/2$  (de cosenos negativos)  $I^-$ , para que pueda haber flujos radiativos no nulos, es preciso que  $I^+ \neq I^-$ . La integración de la ecuación de Schwarzschild con respecto a  $\mu$  y  $\lambda$  sobre una esfera, conduce a una ecuación para el flujo infrarrojo:

$$\frac{dR}{d\tau} = -4\pi(\mathfrak{S} - B) \quad (24)$$

donde  $B = \frac{\sigma T^4}{\pi}$  es la emisión de Planck e

$\mathfrak{S}(\tau) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \int_{-1}^{+1} I_{\nu} d\mu d\nu = \frac{1}{2} (I^+ + I^-)$  define la intensidad (local) promedio suponiendo isotropía hemisférica, según la ya mencionada hipótesis de Eddington. De las ecuaciones (1) se obtienen los flujos ascendente y descendente:

$$R^{\uparrow}(\tau) = \pi I^+(\tau) \quad (25)$$

$$R^{\downarrow}(\tau) = \pi I^-(\tau) \quad (26)$$

Esta aproximación se conoce como "aproximación de dos corrientes" (Goody & Yung, 1989) y se utiliza en el siguiente apartado. Se puede definir de igual manera una temperatura efectiva mediante la ecuación:  $\sigma T_{ef}^4 = R^{\uparrow}(0)$ , y esta sería la temperatura que habría de tener un cuerpo negro para emitir la misma cantidad de energía (infrarroja) que la observada en el tope de la atmósfera.

## 9. Equilibrio radiativo

En equilibrio radiativo cualquier volumen infinitesimal de la capa en cuestión no pierde ni acumula energía (radiante). Por tanto, la divergencia del flujo radiativo se anula en todas partes. En el caso presente esta condición estacionaria se expresa (en función de  $\tau$ ) así:

$$\frac{dF}{d\tau} = \frac{dF^{\downarrow}}{d\tau} - \frac{dF^{\uparrow}}{d\tau} = 0 \quad (27)$$

donde  $F(\tau) = Q(\tau) + R(\tau)$  representa el flujo total en términos de la profundidad óptica, y puesto que dicho flujo es constante se tiene

$$F(\tau) = F(0) = Q(0) + R(0) = \mu_0 Q_0(1 - A) + R^{\downarrow}(0) - R^{\uparrow}(0)$$

De la ecuación (24) resulta  $B = -\frac{1}{4\pi} \frac{dR}{d\tau} + \frac{1}{2} (I^+ + I^-)$ , y con intervención de las ecuaciones (25) y (26), junto con las expresiones para  $F(\tau)$  e  $\mathfrak{S}(\tau)$ , se deduce que para  $\tau = 0$ :

$$B(0) = -\frac{1}{4\pi} \frac{dR}{d\tau}(0) + \frac{R^{\downarrow}(0)}{\pi} + \frac{1}{2\pi} [Q(0) - F(0)]$$

Puesto que el flujo es constante se puede expresar la derivada del flujo infrarrojo con respecto a  $\tau$  usando la expresión para el flujo de radiación solar como:

$$\frac{dR}{d\tau} = \frac{dQ}{d\tau} = -\varepsilon_u Q^{\downarrow}(0) \left[ \frac{e^{-\varepsilon_u \tau / \mu_0}}{\mu_0} + 2A_c e^{-\varepsilon_u \tau_{ub} / \mu_0} E_2(\varepsilon_u (\tau_{ub} - \tau)) \right]$$

con lo que el valor de frontera en cuestión se escribe:

$$B(0) = \frac{Q^{\downarrow}(0)}{2\pi} \left\{ 1 - A + \frac{\varepsilon_u}{2} \left[ \frac{1}{\mu_0} + 2A_c e^{-\varepsilon_u \tau_{ub} / \mu_0} E_2(\varepsilon_u \tau_{ub}) \right] \right\} + \frac{R^{\downarrow}(0)}{\pi} - \frac{F(0)}{2\pi} \quad (28)$$

Derivando la ecuación (24) con respecto a  $\tau$  se tiene:

$$\frac{d^2 R}{d\tau^2} = -4\pi \left( \frac{d\mathfrak{S}}{d\tau} - \frac{dB}{d\tau} \right)$$

Integrando la ecuación (6), después de multiplicarla por  $\mu$ , con respecto al ángulo sólido y sobre una esfera, se obtiene:

$$\frac{4}{3}\pi \frac{d\mathfrak{S}}{d\tau} = -R$$

$$B(\tau) = B(0) - \frac{3F(0)}{4\pi}\tau + \frac{Q^\downarrow(0)}{4\pi} \left\{ \frac{\mu_\theta}{\varepsilon_u} \left( 3 - \frac{\varepsilon_u^2}{\mu_\theta^2} \right) (1 - e^{-\varepsilon_u\tau/\mu_\theta}) + \right. \\ \left. + 2A_c e^{-\varepsilon_u\tau_{ub}/\mu_\theta} \left[ \varepsilon_u [E_2(\varepsilon(\tau_{ub} - \tau)) - E_2(\varepsilon_u\tau_{ub})] - \frac{3}{\varepsilon_u} [E_4(\varepsilon_u(\tau_{ub} - \tau)) - E_4(\varepsilon_u\tau_{ub})] \right] \right\} \quad (30)$$

expresión general que permite establecer las formas analíticas de los perfiles de temperatura en la capa supranefélica.

## 10. Temperatura de las nubes y de la superficie planetaria

La temperatura del tope de las nubes es la misma que la temperatura efectiva de la capa nefélica. Puesto que se ha supuesto que ésta es térmicamente uniforme, la temperatura correspondiente no puede ser otra que la temperatura  $T_c$  (aproximar un perfil dentro de la nube puede convertirse en una extensión interesante del presente trabajo, pero no se realiza aquí). Esta temperatura no es una variable en un modelo del equilibrio radiativo, sino que está determinada por las condiciones impuestas al modelo. Para calcularla, a partir de las ecuaciones (25) y (26), se tiene:

$$T_c = \left( \frac{\mu_\theta Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - A + (1 - A_c) e^{-\varepsilon_u\tau_{ub}/\mu_\theta} + \frac{3\mu_\theta}{2\varepsilon_u} \left( 1 - e^{-\varepsilon_u\tau_{ub}/\mu_\theta} \right) - A_c e^{-\varepsilon_u\tau_{ub}/\mu_\theta} \frac{1}{\varepsilon_u} \left( 1 - 3E_4(\varepsilon_u\tau_{ub}) \right) \right\}^{1/4} + \\ + R^\downarrow(0) - F(0) \left( 1 + \frac{3}{4}\tau_{ub} \right) \quad (33)$$

<sup>10</sup> En la contribución anterior (Pelkowski, 1998) se había establecido una relación parecida para la temperatura superficial que por error de imprenta contiene un factor que no debería estar presente, a saber  $2\varepsilon(1 - E_2(\varepsilon\tau_b))$

Combinando ambas ecuaciones, resulta:

$$\frac{dB}{d\tau} = -\frac{1}{4\pi} \frac{d^2R}{d\tau^2} + \frac{3}{4\pi} R \quad (29)$$

Integrando esta ecuación con respecto a  $\tau$ , recordando que  $R(\tau) = F(0) - Q(\tau)$  y la ecuación (11), se obtiene la función fuente:

$$\pi\mathcal{I}^+(\tau) = \frac{\pi}{2}(I^+ + I^-) - \frac{\pi}{2}(I^- - I^+) = \pi\mathfrak{S}(\tau) - \frac{R(\tau)}{2} \\ \pi\mathcal{I}^-(\tau) = \frac{\pi}{2}(I^+ + I^-) + \frac{\pi}{2}(I^- - I^+) = \pi\mathfrak{S}(\tau) + \frac{R(\tau)}{2}$$

de donde, en virtud de las ecuaciones. (24), (27) y de la condición  $R(\tau) = F(0) - Q(\tau)$ , se siguen las expresiones:

$$R^\downarrow(\tau) = \pi B(0) - \frac{R^\downarrow(0)}{4} - \frac{3}{4}F(0)\tau + \frac{3}{4}\int_0^\tau Q(t) dt - \frac{F(0)}{2} + \frac{Q(\tau)}{2} \\ R^\uparrow(\tau) = \pi B(0) - \frac{R^\downarrow(0)}{4} - \frac{3}{4}F(0)\tau + \frac{3}{4}\int_0^\tau Q(t) dt + \frac{F(0)}{2} - \frac{Q(\tau)}{2} \quad (31) \text{ y } (32)$$

Definiendo la temperatura  $T_c$  mediante la relación  $R^\downarrow(\tau_{ub}) = \sigma T_c^4$  se puede derivar una ecuación para la temperatura efectiva de las nubes <sup>10</sup>, aprovechando las ecuaciones (12) y (29):

en la ecuación (29) de dicho texto, y un corchete desplazado que no debe cobijar a los dos últimos términos en misma ecuación.

Sólo se consideran perfiles para los cuales  $R^\downarrow(0) = F(0) = 0$  en la capa supranefélica, si se tiene en cuenta que la única contribución apreciable corresponde a un fondo de radiación cósmica de 2,7 K y una parte del espectro solar, que es despreciable en el balance. Para  $\varepsilon_u \rightarrow 0$  se obtiene de la ecuación (33) la expresión:

$$T_c = \left\{ \left( \frac{\mu_\theta Q_0 (1 - A_c)}{\sigma} \right) \left( 1 + \frac{3}{4} \tau_{ub} \right) - \left( \frac{\mu_\theta Q_0}{2\sigma} \right) \frac{r_o t_c^2}{1 - r_c r_o} \right\}^{1/4} \quad (34)$$

donde se ha usado

$$A \rightarrow A_c = r_c + \frac{r_o t_c^2}{1 - r_c r_o}$$

que corresponde al albedo de las dos capas inferiores en el modelo.

Este resultado refleja un efecto menor de invernadero: si aumenta la profundidad óptica de la capa supranefélica de la atmósfera (por aumento de la masa total de ciertos gases traza), la temperatura de la nube aumenta. Para calcular la temperatura superficial deberán tenerse en cuenta las condiciones de equilibrio en la capa infranefélica, distintas a las del conjunto. Más precisamente, la

condición de equilibrio radiativo local para esta capa se simplificará suponiendo que no hay fuentes de radiación solar ( $\varepsilon_l \rightarrow 0$ ). Esta suposición implica que el flujo neto infrarrojo es una constante:

$$R(\tau_l = 0) = \text{constante}$$

y por tanto la integración de la ecuación (6), cuyo resultado es  $\frac{dR}{d\tau} = -4\pi(\mathfrak{S} - B)$ , implica  $\mathfrak{S} = B$ .

Igualmente, a partir de  $\frac{4}{3}\pi \frac{d\mathfrak{S}}{d\tau} = -R$ , por integración simple se sigue:

$$B(\tau) = B(0) - \frac{3}{4\pi} \int_0^\tau R(\tau') d\tau' \quad (35)$$

Con la aproximación de dos corrientes y teniendo en cuenta que

$$R(\tau) = R(0) = R^\downarrow(0) - R^\uparrow(0) = R^\downarrow(\tau_b) - R^\uparrow(\tau_b) = R(\tau_b)$$

se puede plantear para la capa infranefélica la ecuación:

$$B(\tau_l) = B(\tau_l = 0) - \frac{3}{4\pi} \int_0^\tau R(\tau_l = 0) d\tau' = \mathfrak{S}(0) - \frac{3}{4\pi} \int_0^\tau [R^\downarrow(\tau_l = 0) - R^\uparrow(\tau_l = 0)] d\tau'$$

Teniendo en cuenta los valores de frontera:

$$R^\downarrow(\tau_l = 0) = \sigma T_c^4$$

$$R^\uparrow(\tau_l = 0) = \sigma T_{le}^4$$

y puesto que:

$$B(\tau_l = 0) = \frac{1}{\pi} \sigma T_l^4$$

$$\mathfrak{S}(\tau_l = 0) = \frac{1}{2} [I^+(0) + I^-(0)] = \frac{1}{2\pi} [R^\uparrow(\tau_l = 0) + R^\downarrow(\tau_l = 0)]$$

se obtiene una expresión que relaciona la temperatura de la capa infranefélica con su temperatura efectiva, con una pequeña corrección debida a las nubes:

$$T_l^4 = T_{lef}^4 \left( \frac{1}{2} + \frac{3}{4} \tau_l \right) + T_c^4 \left( \frac{1}{2} - \frac{3}{4} \tau_l \right) \quad (36)$$

Considerando ahora la frontera inferior de la capa en cuestión, con las condiciones:

$$R^\downarrow(\tau_b) = R + R^\uparrow(\tau_b) = R^\downarrow(0) - R^\uparrow(0) + R^\uparrow(\tau_b)$$

$$R^\uparrow(\tau_b) = \sigma T_s^4$$

$$B(\tau_b) = \frac{1}{\pi} \sigma T_l^4 = \mathfrak{S}(\tau_b) = \frac{1}{2} [I^+(\tau_b) + I^-(\tau_b)] = \frac{1}{2\pi} [R^\uparrow(\tau_b) + R^\downarrow(\tau_b)]$$

se obtiene para la temperatura de superficie:

$$T_s^4 = T_{lef}^4 \left( 1 + \frac{3}{4} \tau_{lb} \right) - T_c^4 \frac{3}{4} \tau_{lb} \quad (37)$$

expresión que contiene el efecto invernadero y que se reduce a la relación conocida entre temperatura superficial y profundidad óptica en el caso  $T_c = 0$  y  $\varepsilon_u = 0$ .

### 11. Ligaduras climatológicas

Aproximadamente un 20% de la radiación solar es absorbida por la atmósfera. Dado que el albedo es cercano al 30%, la superficie terrestre absorbe aproximadamente la mitad de la radiación solar incidente en la frontera superior de la atmósfera, sea  $\gamma_0$  esta fracción. Se puede suponer

$$A_0 = 0.3 = \frac{Q_r}{Q^\downarrow(0)} = t_u r_c t_{ud} + \frac{r_o t_l t_{ld} t_c^2 t_u t_{ud}}{1 - r_c r_o t_{ld}^2} = t_u t_{ud} (r_c + \frac{r_o t_l t_{ld} t_c^2}{1 - r_c r_o t_{ld}^2}) = t_u t_{ud} A_c$$

De acuerdo con Pelkowski (1998) expresaremos este albedo en términos de  $A_c$  y las transmisividades así:

$$A_0 = 0.3 = 2A_c e^{-\varepsilon_u \tau_{ub} / \mu_\Theta} E_3(\varepsilon_u \tau_{ub})$$

Balance de energía en la superficie del planeta  
(ecuación 12):

$$\gamma_0 = 0.5 = \frac{Q(\tau_{lb})}{Q^\downarrow(0)} = (1 - r_o) \frac{t_l t_c t_u}{1 - r_c r_o t_{ld}^2}$$

Este balance en el tope de las nubes, considerando que la capa supranefélica absorbe un 20% de radiación solar, corresponde también con un 50% de la radiación inicial:

$$\gamma_c = 0.5 = \frac{Q(\tau_{ub})}{Q^\downarrow(0)} = (1 - A_c) e^{-\varepsilon_u \tau_{ub} / \mu_\Theta}$$

Para simplificar, se ha supuesto que no se absorbe radiación solar en la capa infranefélica, esto es,  $\varepsilon_l = 0$ , o sus equivalentes  $t_l = 1$ ,  $t_{ld} = 1$ . Los valores de solución de este sistema de ligaduras acompañan a los gráficos correspondientes (Figs. 5-6). Hemos utilizado una temperatura de superficie  $T_s = 288K$ , un albedo superficial  $r_o = 0.15$ ; hemos calculado un albedo de la capa de nubes  $r_c = 0.34$ , junto con un valor de  $\varepsilon_u \tau_{ub} = 0.047$ , que resulta

(ver Fig.3), además, que cerca de un 3% de la radiación incidente en el tope de la atmósfera es absorbida antes de tocar la cima de las nubes y que éstas a su vez absorben el 17% restante. En un estado climatológico, correspondiente al equilibrio radiativo global actualmente observado (el cual reproduce la temperatura efectiva del planeta,  $T_{ef} = 255 K$ ), en el cual  $Q_0 = 1370 W/m^2$ ;  $\mu_\Theta = 0.25$ ;  $A_0 = 0.3$ , valen entonces las relaciones o ligaduras siguientes:

Albedo global (ecuación (12)):

de solucionar las ecuaciones para  $\gamma_c$  y  $A_0$ . La temperatura efectiva de la capa inferior y la temperatura de las nubes se calculan con las ecuaciones (34) y (37) suponiendo una profundidad óptica infrarroja supranefélica igual a 0.09 unidades (con  $\varepsilon_u = 0.5$ ) y una profundidad óptica infrarroja infranefélica igual a 0.84 unidades (de la ecuación (37)). Estos dos son los parámetros del sistema. (Nótese que de acuerdo con la Fig.4, con  $f=0.98$ , puesto que queremos que la mayor parte del esparcimiento se produzca hacia delante, el valor obtenido del albedo de la capa de nubes corresponde a nubes de poca profundidad óptica).

### 12. Perfiles de temperatura para una atmósfera terrestre en equilibrio radiativo

#### Capa supranefélica

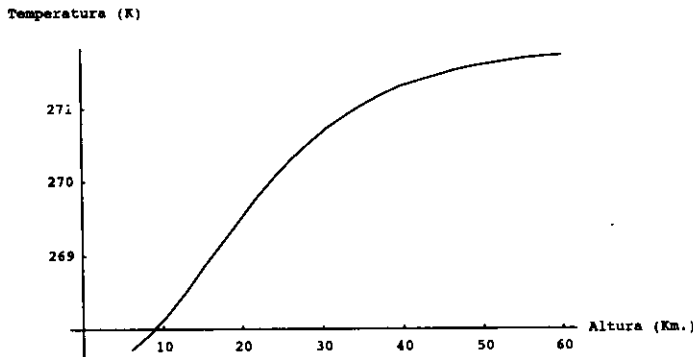
El problema ha sido ya resuelto por Pelkowski (1998) para una atmósfera sin nubes y con un albedo superficial  $r_o$ . Cambian las condiciones de frontera inferiores, dado que la superficie es ahora el tope de las nubes, y la forma de  $\tau(z)$ , que es ahora debida al ozono.

Como la atmósfera no recibe radiación de onda larga apreciable en su frontera superior, es decir,  $R^\downarrow(0) = 0$ , la condición de equilibrio radiativo global se expresa como  $F(0) = 0$ , que implica  $Q(0) = \sigma T_{ef}^4$ .

Con estas condiciones de frontera, y teniendo en cuenta la hipótesis del equilibrio termodinámico local, es decir, la relación  $B(\tau) = \frac{1}{\pi} \sigma T^4$ , de la ecuación (30) y suponiendo una profundidad óptica solar  $\tau(z) = 4.810^{-3}(16z + z^2 + 128)e^{-0.125z}$ , válida para el ozono

$$T_u(z) = \left( \frac{\mu_{\theta} Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - A + \frac{\epsilon_u}{2} \left[ \frac{1}{\mu_{\theta}} + 2A_c e^{-\epsilon_u \tau_{ub}/\mu_{\theta}} E_2(\epsilon_u \tau_{ub}) \right] + \frac{\mu_{\theta}}{2\epsilon_u} \left( 1 - e^{-\epsilon_u \tau(z)/\mu_{\theta}} \right) \left( 3 - \frac{\epsilon_u^2}{\mu_{\theta}^2} \right) + A_c e^{-\epsilon_u \tau_{ub}/\mu_{\theta}} \left[ \epsilon_u \left[ E_2(\epsilon_u (\tau_{ub} - \tau(z))) - E_2(\epsilon_u \tau_{ub}) \right] - \frac{3}{\epsilon_u} \left[ E_4(\epsilon_u (\tau_{ub} - \tau(z))) - E_4(\epsilon_u \tau_{ub}) \right] \right] \right\}^{1/4} \quad (38)$$

La Fig. 5 muestra este perfil de temperatura, de acuerdo con los parámetros comentados en la anterior sección<sup>11</sup>.



**Figura 5.** Distribución vertical de temperatura arriba de las nubes en una atmósfera terrestre en equilibrio radiativo, calculada para valores climatológicos de los parámetros y para  $\tau(z) = 4.810^{-3}(16z + z^2 + 128)e^{-0.125z}$  (escala de altura = 8 km;  $\epsilon_u = 0.5$ ;  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ ;  $A_c = 0.396$ ;  $\tau_{ub} = 0.09$ ).

estratosférico (Grotjahn, 1991) se deduce la expresión analítica de la distribución vertical de temperatura atmosférica en función de la altura sobre el tope de las nubes ( $z_c \leq z \leq H$ ):

La densidad del ozono utilizada en la representación anterior es de la forma  $\rho_{O_3}(z) = Az^2 e^{-az}$ , con  $A = 0.0006 \text{ kg m}^{-3} \text{ km}^2$  y  $a = 0.125 \text{ km}^{-1}$  (Grotjahn, 1991). De acuerdo con la definición de la profundidad óptica integrando por partes esta densidad con  $k = 0.077 \left[ \frac{\mu^2}{\text{kg}} \right]$  (correspondiente a  $z_c = 6 \text{ km}$ ) se obtiene la relación empleada en la representación de la Fig. 5<sup>12</sup>.

Si el albedo de las nubes fuese nulo se tendría:

$$T_u(z) = \left( \frac{\mu_{\theta} Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - A - \frac{\epsilon_u}{2\mu_{\theta}} + \frac{\mu_{\theta}}{2\epsilon_u} \left( 1 - e^{-\epsilon_u \tau(z)/\mu_{\theta}} \right) \left( 3 - \frac{\epsilon_u^2}{\mu_{\theta}^2} \right) \right\}^{1/4}$$

En el límite  $\epsilon_u \rightarrow 0$ , esta última ecuación se reduce a:

$$T_u(z) = T_d \left( \frac{1}{2} + \frac{3}{4} \tau(z) \right)^{1/4}$$

<sup>11</sup> Puesto que la relación para el ozono es medida desde la superficie del planeta y puesto que en la ecuación (31) la altura  $z' = 0$  es en realidad la altura atmosférica  $z = 6 \text{ km}$ , para efectos de la representación gráfica se ha usado la transformación  $z' = z - 6$ .

<sup>12</sup> Según Rodgers (1967) en lugar de  $\mu$  se debería usar en el caso de la absorción debida al ozono la siguiente corrección  $\rho_{O_3}(z) = Az^2 e^{-az} \sqrt{\frac{1224\mu^2 + 1}{35\mu}}$ , expresión que no será utilizada aquí para simplificar.

Capa infranefélica

La condición de equilibrio radiativo local para la capa infranefélica debe tener en cuenta nuestra suposición de anular las fuentes de radiación solar ( $\epsilon_l \rightarrow 0$ ). Esta suposición implica que el flujo neto infrarrojo es una constante:

$$R(\tau_l = 0) = \text{constante}$$

Como se ha mostrado ya en el apartado "Temperatura de las nubes y de la superficie", dada una temperatura

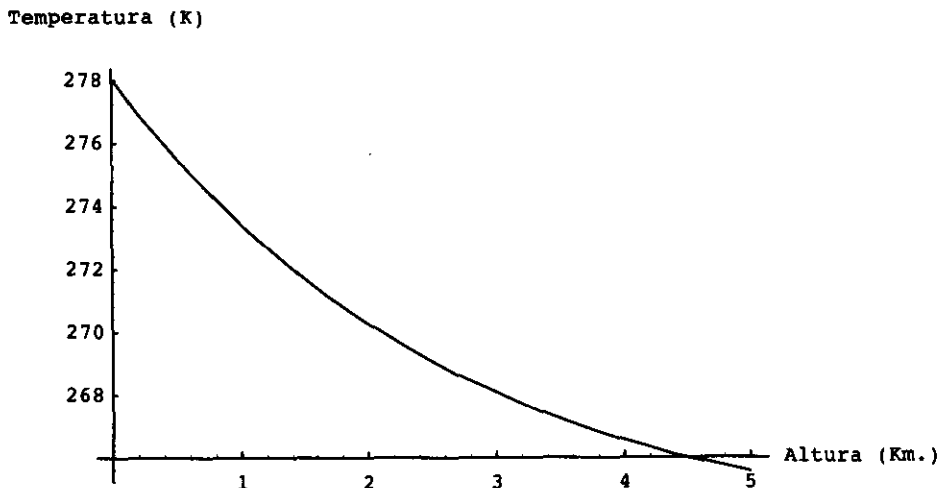
infranefélica efectiva mediante la ecuación  $\sigma T_{lef}^4 = R^\uparrow(\tau_l = 0)$  entonces:

$$T_l^4(\tau) = T_{lef}^4 \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4}\tau\right) + T_c^4 \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{4}\tau\right)$$

donde se puede suponer  $\tau(z) = \tau_{lb} e^{-z/H_g}$ , relación válida para el vapor de agua troposférico y para otros gases de efecto invernadero, especialmente el CO<sub>2</sub>. Por tanto la expresión analítica de la distribución vertical de temperatura atmosférica en función de la altura debajo de las nubes es ( $0 \leq z \leq z_c$ ):

$$T_l(z) = \left[ T_{lef}^4 \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4}\tau(z)\right) + T_c^4 \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{4}\tau(z)\right) \right]^{1/4} = \left[ \frac{1}{2}(T_{lef}^4 + T_c^4) + \frac{3}{4}(T_{lef}^4 - T_c^4)\tau(z) \right]^{1/4} \tag{39}$$

La Fig. 7 muestra este perfil de temperatura, de acuerdo con los parámetros de la leyenda.



**Figura 6.** Distribución vertical de temperatura debajo de las nubes en una atmósfera terrestre en equilibrio radiativo, calculada para valores climatológicos de los parámetros y para  $\tau(z) = \tau_{lb} e^{-z/H_g}$   
 (Escala de altura  $H_g = 2Km$ ;  $T_{lef} = 275K$ ;  $\tau_{lb} = 0.84$ ;  $T_c = 250K$ )



En relación con la Temperatura efectiva hay que señalar que si se va a utilizar el valor climatológico de la temperatura superficial como ligadura del modelo, no es posible elegir un valor independiente de aquélla, ya que, para respetar la ligadura de una capa infranefélica en equilibrio radiativo global, se debe cumplir la siguiente condición:

$$F_i(0) = 0 = Q_i(0) + R_i(0) \quad (40)$$

que es equivalente a:

$$T_{lef}^4 = T_c^4 + (1 - A_c) \tau_u \frac{Q^+(0)}{\sigma}$$

Para poder mantener el valor climatológico de la temperatura superficial se empleó un valor de  $T_{lef} = 275K$ .

$$T_i(z) = \left( \frac{\mu_\Theta Q_0}{2\sigma} \right)^{1/4} \left\{ 1 - A - \frac{\varepsilon_l}{2\mu_\Theta} + \frac{\mu_\Theta}{2\varepsilon_l} \left( 1 - e^{-\varepsilon_l \tau_{lb} (e^{-z/H_s}) / \mu_\Theta} \right) \left( 3 - \frac{\varepsilon_l^2}{\mu_\Theta^2} \right) \right\}^{1/4} \quad (41)$$

En el límite  $T_c \rightarrow 0$  con  $\varepsilon_l \rightarrow 0$ , esta última ecuación se reduce a la expresión clásica (Goody & Yung, 1989):

$$T_i(z) = T_{lef} \left( \frac{1}{2} + \frac{3}{4} \tau_{lb} e^{-z/H_s} \right)^{1/4}$$

## Conclusiones

Las ecuaciones desarrolladas en este trabajo representan una extensión de trabajos anteriores que describen distintos aspectos de la teoría de la radiación aplicados a atmósferas planetarias, ilustrando de una manera elemental la física de los procesos radiativos de retroalimentación en términos de un conjunto dado de parámetros, a saber las profundidades ópticas encima y debajo de las nubes. Al incorporar la absorción de radiación solar encima de las nubes y por tanto el calentamiento estratosférico, una versión simplificada del esparcimiento atmosférico, así como los efectos de variaciones del albedo de las nubes, de la superficie y del planeta, se da cuenta de los cambios atmosféricos de transparencia, mostrando la interrelación de tres factores climáticos determinantes: gases de efecto invernadero, aerosoles y nubes; albedo superficial; y albedo global.

El modelo no pretende ser realista debido a las simplificaciones que contiene. Con un poco de trabajo adicional en ajustes de tipo convectivo cerca de la superficie, en la remoción de discontinuidades en las temperaturas de frontera (discontinuidades características del cualquier modelo de equilibrio radiativo), puede convertirse en una representación aceptable de los procesos radiativos en una atmósfera como la del planeta Tierra.

Obsérvese que estos dos valores no satisfacen la ecuación anterior; se sigue entonces que la capa y la superficie están recibiendo más energía de la que tendrían en equilibrio radiativo global, lo cual resultaría en un aumento de la temperatura superficial a menos que se postule un sumidero en la superficie. En otras palabras, para cumplir con el equilibrio radiativo de la capa infranefélica, habría que abandonar el valor climatológico para la temperatura de superficie. En tal caso esta es calculable mediante dicha ligadura y es igual a  $T_s = 306K$ .

La Fig.5, entonces, ha sido producida descartando la condición de equilibrio radiativo global para la capa infranefélica, ecuación (40).

Si el albedo superficial fuese nulo, como en los modelos hasta hoy publicados, se tendría de la ecuación

## Referencias bibliográficas

- Anduckia J., & J. Pelkowski.** 2000. Algunos resultados de equilibrio radiativo en atmósferas con nubes. *Meteorol. Colomb.* 2:23-31. Bogotá, D.C. - Colombia.
- Goody, R.M. & Y.L. Yung.** 1989. *Atmospheric Radiation. Theoretical Basis.* Sec. ed., cap. 9. Oxford University Press, New York.
- Grotjahn, R.** 1991. *Global Atmospheric Circulations. Observations and Theories.* 224pp. Oxford University Press, New York.
- Hartmann, D.L.** 1994. *Global Physical Climatology.* Academic Press, San Diego.
- Houghton, J.T.** 1986. *The Physics of Atmospheres.* Segunda edición. Cambridge University Press, Cambridge.
- Liou, K.-N.** 1980. *An introduction to atmospheric radiation.* Academic Press, London.
- Pelkowski, J.** 1998. Atmósfera y océano en equilibrio radiativo, *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 22 (82):53-67.
- Rodgers, C.D.** 1967. The use of emissivity in atmospheric radiation calculations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 93:43-54.
- Salby, M. L.** 1996. *Fundamentals of Atmospheric Physics,* International Geophysics Series vol. 61, Academic Press, San Diego.

# UNA ECUACIÓN INTEGRAL PARA EL ESTUDIO DE COLISIONES INELÁSTICAS

por

Héctor R. Maya<sup>1,2</sup> & Diógenes Campos<sup>3,4</sup>

## Resumen

**Maya H., & Campos D.:** Una ecuación integral para el estudio de colisiones inelásticas. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **24**(93): 521-527, 2000. ISSN 0370-3908.

Se propone una ecuación integral para determinar la matriz de dispersión ( $S$ ) y se hace uso de un método de aproximación para encontrar su solución. El método se aplica en una aproximación de dos estados al sistema  $\text{He}^+ + \text{Ne}$ , para energía de  $E = 70.9 \text{ eV}$ . Los resultados teóricos se comparan con datos de otras aproximaciones (LZS, DW, UWKB) y tienen buena concordancia con el experimento.

**Palabras clave:** Matriz  $S$ , colisiones, ecuaciones radiales acopladas.

## Abstract

We propose an integral equation to determine the  $S$ - matrix and an approximate method to determine its solution. The method is applied to the system  $\text{He}^+ + \text{Ne}$  in a two states model and for an energy of  $E = 70.9 \text{ eV}$ . The theoretical results are compared with data of other methods (LZS, DW, UWKB) and they have also a good agreement with the experiment.

**Key words:**  $S$ -Matrix, scattering, radial coupled equations.

<sup>1</sup> Departamento de Física, Universidad de Córdoba, Montería

<sup>2</sup> E-mail: rmaya@168.176.9.40

<sup>3</sup> Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

<sup>4</sup> E-mail: dcamposr@168.176.9.40

## 1. Introducción

Existen abundantes datos experimentales de colisiones inelásticas entre sistemas atómicos y moleculares que requieren un análisis teórico. Para algunos sistemas es posible realizar ese análisis a partir de cálculos *ab initio*. Sin embargo, en la mayoría de los casos es necesario acudir a métodos de aproximación, por ejemplo: aproximación de Born (AB) [1], onda distorsionada (DW) [2], teoría de Landau-Zener-Stückelberg (LZS) [3], [4], [5], (ver también [6] y referencias allí citadas).

La teoría de LZS es uno de los modelos más sencillos y se usa con frecuencia para tratar problemas de dispersión inelástica que involucran el cruce de curvas de potencial [6]. La aproximación de Born, por su parte, da buenos resultados cuando el acoplamiento entre canales es débil y las energías de colisión son moderadamente altas. El método de onda distorsionada toma en cuenta que los potenciales distorsionan los estados iniciales y finales, dando así lugar a una teoría más general que la de Born.

El presente trabajo se basa en un método desarrollado por uno de nosotros [8] con el propósito de tratar problemas de dispersión descritos por un sistema de ecuaciones radiales acopladas. En el método se obtiene una ecuación integral exacta para la matriz de dispersión  $S$ , a partir de la cual es posible obtener como casos particulares las aproximaciones arriba citadas.

Uno de los propósitos del presente artículo consiste en aplicar esa ecuación integral a un problema de dispersión inelástica, en una aproximación de dos estados, e incorporar en la teoría una simplificación adicional que facilita la aplicación del método. Como objeto específico elegimos el estudio de procesos inelásticos en el sistema  $\text{He}^+ + \text{Ne}$ , el cual se puede describir de manera adecuada por una aproximación de 2 canales. Este sistema ha sido objeto de amplio estudio [7], de tal manera que es posible evaluar la calidad de los resultados que se obtengan con la aplicación del método descrito en el presente artículo. Por otro lado, con el fin de mostrar la confiabilidad del procedimiento, se comparará también la sección eficaz diferencial teórica con resultados experimentales y con otros métodos teóricos.

## 2. Teoría

Los procesos de colisiones inelásticas entre partículas atómicas (electrones, átomos y moléculas) se estudian

con frecuencia mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales, radiales, acopladas, de segundo orden, asociadas con el movimiento relativo de las partículas que colisionan [6], [1], [9]:

$$\left[ \frac{d^2}{dr^2} + k_\beta^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} - U_{\beta\beta}(r) \right] \Psi_{\beta\alpha}(\ell, r) = H_{\beta\alpha}(\ell, r), \quad (1)$$

donde  $\alpha, \beta, \gamma (= 1, 2, \dots, N)$  rotulan los canales. Los términos

$$H_{\beta\alpha}(\ell, r) = \sum_{\gamma=1}^N (1 - \delta_{\beta\gamma}) U_{\beta\gamma}(r) \Psi_{\gamma\alpha}(\ell, r) \quad (2)$$

representan el acoplamiento entre los  $N$  canales involucrados en el problema, donde  $\alpha$  es el canal inicial. El parámetro  $\ell = 0, 1, 2, \dots, \infty$  designa el momentum angular orbital,  $k_\beta$  es el número de onda correspondiente al canal  $\beta$  cuando la energía total del sistema es  $E$ ; esto es,  $k_\beta^2 = (2\mu/\hbar^2)(E - \epsilon_\beta)$ , donde  $\epsilon_\beta$  es el umbral del canal  $\beta$  y  $\mu$  es la masa reducida del sistema de dos partículas que chocan.

Las ecuaciones (1) se deben solucionar con condiciones de frontera apropiadas para describir el proceso de colisión del sistema bajo estudio. La solución permite determinar los elementos de la matriz de dispersión  $S(\ell)$ , los cuales son las cantidades de interés físico, ya que están relacionados de manera directa con las secciones eficaces (diferencial y total).

## 3. Fundamento del método

El problema físico queda especificado de manera completa al imponer las siguientes condiciones de frontera:

$$\Psi_{\beta\alpha}(\ell, r) \Big|_{r \rightarrow 0} = 0, \quad (3)$$

$$\Psi_{\beta\alpha}(\ell, r) \Big|_{r \rightarrow \infty} =$$

$$\frac{i}{2} \left[ \epsilon_\alpha^-(\ell, r) \delta_{\beta\alpha} - \left( \frac{k_\alpha}{k_\beta} \right)^{1/2} S_{\beta\alpha}(\ell) \epsilon_\alpha^+(\ell, r) \right] \quad (4)$$

donde

$$\epsilon_\alpha^\pm(\ell, r) := \exp[\pm i(k_\beta r - \ell\pi/2)] \quad (5)$$

El fundamento del método [8] consiste en descomponer la solución del sistema de ecuaciones (1) en una parte incidente y en una onda dispersada:

$$\Psi_{\beta\alpha}(\ell, r) = \frac{1}{F_\beta(\ell)} \Phi_\beta^\times(\ell, r) \delta_{\beta\alpha} + \bar{\Psi}_{\beta\alpha}(\ell, r). \quad (6)$$

El primer término del lado derecho es la razón entre la solución regular de la ecuación diferencial homogénea correspondiente al sistema (1) y la función de Jost. El segundo término representa la función de onda dispersada siempre y cuando cumpla el comportamiento asintótico exigido en el origen y en (4). Para que esto sea así se requiere que la función  $\bar{\Psi}_{\beta\alpha}(\ell, r)$  tenga las siguientes propiedades:

$$\bar{\Psi}_{\beta\alpha}(\ell, r) \underset{r \rightarrow 0}{=} 0, \quad (7)$$

y

$$\bar{\Psi}_{\beta\alpha}(\ell, r) \underset{r \rightarrow \infty}{=} -\frac{i}{2} \left( \frac{k_\alpha}{k_\beta} \right)^{1/2} [S_{\beta\alpha}(\ell) - s_\beta(\ell) \delta_{\beta\alpha}] \varepsilon_\beta^+(\ell, r). \quad (8)$$

La cantidad  $s_\beta(\ell)$  designa la matriz  $s$  para el canal  $\beta$  en ausencia completa de acoplamiento con otros canales.

La ecuación (8) sugiere expresar la onda dispersada en la forma

$$\bar{\Psi}_{\beta\alpha}(\ell, r) = G_{\beta\alpha}(\ell, r) \varepsilon_\beta^+(\ell, r), \quad (9)$$

donde  $G_{\beta\alpha}(\ell, r)$ ,  $\beta = 1, 2, \dots, N$ , designa un conjunto de funciones auxiliares que se introducen por conveniencia. Estas funciones se anulan en el origen y se comportan a grandes  $r$  como constantes ligadas con los elementos de la matriz de dispersión  $S$ ; esto es:

$$G_{\beta\alpha}(\ell, r) \underset{r \rightarrow \infty}{=} -\frac{i}{2} \left( \frac{k_\alpha}{k_\beta} \right)^{1/2} [S_{\beta\alpha}(\ell) - s_\beta(\ell) \delta_{\beta\alpha}]. \quad (10)$$

Esta relación indica que al encontrar  $G_{\beta\alpha}(\ell, \infty)$  por un método apropiado, entonces el elemento correspondiente de la matriz  $S(\ell)$  es dado por

$$S_{\beta\alpha}(\ell) = \left( \frac{k_\beta}{k_\alpha} \right)^{1/2} [s_\beta(\ell) \delta_{\beta\alpha} + 2i G_{\beta\alpha}(\ell, \infty)]. \quad (11)$$

#### 4. Ecuación integral para la matriz $S$

Considerar la ecuación de Schrödinger asociada con el canal  $\beta$ , en ausencia de acoplamiento con cualquier otro canal:

$$\left[ \frac{d^2}{dr^2} + k_\beta^2 - \frac{l(l+1)}{r^2} - U_{\beta\beta}(r) \right] \Phi_\beta(\ell, r) = 0. \quad (12)$$

Además de la solución regular  $\Phi_\beta^+(\ell, r)$  que describe el proceso de dispersión elástico, la ecuación (12) tiene otras dos soluciones linealmente independientes, conocidas como soluciones de Jost (emergente e incidente),

las cuales notaremos por  $\Phi_\beta^+(\ell, r)$  y  $\Phi_\beta^-(\ell, r)$  respectivamente. Al usar una técnica análoga a la descrita en [9] y [10], se concluye que la matriz  $G(\ell, r)$  se puede escribir como la suma de dos contribuciones asociadas con las soluciones regular y de Jost emergente:

$$G(\ell, r) = \phi^\times(\ell, r) \int_r^\infty dR I^\infty(\ell, R) + \phi^+(\ell, r) \int_0^r dR I^0(\ell, R), \quad (13)$$

donde

$$I^\infty(\ell, R) := \Phi^+(\ell, R) U(R) [\varepsilon^+(\ell, R) G(\ell, R) + \varphi^\times(\ell, R)], \quad (14)$$

$$I^0(\ell, R) := \Phi^\times(\ell, R) U(R) [\varepsilon^+(\ell, R) G(\ell, R) + \varphi^\times(\ell, R)]. \quad (15)$$

Nótese que el supraíndice  $\infty$  y  $0$  es sólo una ayuda nemotécnica para recordar el rango de integración. En lo anterior hemos usado matrices diagonales  $\Phi^\sigma(\ell, r)$ ,  $\phi^\sigma(\ell, r)$  y  $\varphi^\sigma(\ell, r)$  (donde  $\sigma := \times, +, -$ ) que se construyen con las funciones de onda asociadas con la dispersión puramente elástica, en ausencia de acoplamiento entre canales:

$$\begin{aligned} \phi^\sigma(\ell, r) &:= -\mathbf{K}^{-1} \varepsilon^-(\ell, r) \varphi^\sigma(\ell, r), \\ \varphi^\sigma(\ell, r) &:= \mathbf{F}^{-1}(\ell) \Phi^\sigma(\ell, r). \end{aligned} \quad (16)$$

Las matrices diagonales  $\mathbf{K}$  y  $\mathbf{F}(\ell)$  están formadas por los números de onda y por las funciones de Jost. En este punto conviene observar que, en el límite  $r \rightarrow \infty$ ,  $\phi^+(\ell, \infty)$  se convierte en una matriz diagonal constante (independiente de  $r$ ).

Se observa que el conjunto de ecuaciones (13), (14) y (15), conforman una *ecuación integral* para la matriz  $G(\ell, r)$ . La solución de esa ecuación permite determinar la matriz de dispersión  $S(\ell)$  en virtud de las relaciones (11) que ligan  $G(\ell, \infty)$  con  $S(\ell)$ .

#### 5. Solución aproximada para $G(\ell, r)$

Es difícil solucionar la ecuación integral que determinan las ecuaciones (13), (14) y (15), en especial debido a que ella equivale a un sistema de ecuaciones diferenciales con condiciones de frontera tanto en el origen ( $r \rightarrow 0$ ) como en el infinito ( $r \rightarrow \infty$ ). Sin embargo, de acuerdo con (13) y (15), la matriz  $G(\ell, r)$  evaluada en el infinito ( $r \rightarrow \infty$ )

es dada por

$$G(\ell, \infty) = -(\mathbf{K}(\ell)\mathbf{F}(\ell))^{-1} \int_0^{\infty} dR \mathbf{I}^0(\ell, R). \quad (17)$$

Esta expresión es exacta y como tal conlleva a una matriz  $\mathbf{S}(\ell)$  que es unitaria y simétrica, e incluye como casos particulares las aproximaciones citadas en la introducción (ver apéndice).

Lo anterior sugiere definir una nueva función  $\mathcal{G}(\ell, r)$ ,

$$\mathcal{G}(\ell, r) = -(\mathbf{K}\mathbf{F}(\ell))^{-1} \int_0^r dR \Phi^\times(\ell, R) \mathbf{U}(R) \times [\epsilon^+(\ell, R) \mathcal{G}(\ell, R) + \varphi^\times(\ell, R)], \quad (18)$$

e introducir la siguiente *aproximación*: Bajo condiciones razonables esperamos que las funciones  $G(\ell, r)$  y  $\mathcal{G}(\ell, r)$  tengan a grandes distancias  $r$  un comportamiento cuantitativo y cualitativo similar. Veremos que para potenciales de acople  $\mathbf{U}(R)$  no muy intensos esta aproximación da excelentes resultados en el cálculo de la matriz de dispersión  $\mathbf{S}(\ell)$ .

El valor práctico de (18) está en el hecho de que es una ecuación matricial e integral de Volterra, la cual se puede solucionar transformándola en un problema de valores iniciales para un sistema de ecuaciones diferenciales. En particular, dentro de la aproximación de dos estados en que estamos interesados, la ecuación (18) equivale a dos sistemas independientes de ecuaciones diferenciales acopladas, cada uno de ellos con dos ecuaciones.

*Sistema 1:*

$$\begin{aligned} \frac{d}{dr} \mathcal{G}_{11}(\ell, r) &= -\frac{1}{k_1} \varphi_1^\times(\ell, r) U_{12}(r) \epsilon_2^+(\ell, r) \mathcal{G}_{21}(\ell, r) \\ \frac{d}{dr} \mathcal{G}_{21}(\ell, r) &= -\frac{1}{k_2} \varphi_2^\times(\ell, r) U_{12}(r) \epsilon_1^+(\ell, r) \mathcal{G}_{11}(\ell, r) \\ &\quad - \frac{1}{k_2} \varphi_1^\times(r) U_{12}(\ell, r) \varphi_2^\times(\ell, r). \end{aligned}$$

*Sistema 2:*

$$\begin{aligned} \frac{d}{dr} \mathcal{G}_{12}(\ell, r) &= -\frac{1}{k_1} \varphi_1^\times(\ell, r) U_{12}(r) \epsilon_2^+(\ell, r) \mathcal{G}_{22}(\ell, r) \\ &\quad - \frac{1}{k_1} \varphi_1^\times(\ell, r) U_{12}(r) \varphi_2^\times(\ell, r) \\ \frac{d}{dr} \mathcal{G}_{22}(\ell, r) &= -\frac{1}{k_2} \varphi_2^\times(\ell, r) U_{12}(r) \epsilon_1^+(\ell, r) \mathcal{G}_{12}(\ell, r). \end{aligned}$$

Como consecuencia de la definición (18) la condición inicial para estos sistemas de ecuaciones es la siguiente:

$$\mathcal{G}_{11}(\ell, 0) = \mathcal{G}_{21}(\ell, 0) = \mathcal{G}_{12}(\ell, 0) = \mathcal{G}_{22}(\ell, 0) = 0.$$

La integración de los sistemas de ecuaciones anteriores no representa mayor dificultad numérica y, en la práctica, sólo se requiere resolver uno de los dos. Sin embargo la ventaja de la aproximación propuesta depende de la posibilidad de obtener soluciones regulares  $\varphi_n^\times(\ell, r)$ ,  $n = 1, 2$ , que sean adecuadas para el sistema bajo estudio. Esta situación favorable se presenta cuando se estudian colisiones atómicas entre partículas masivas a energías de colisión no muy bajas, ya que bajo esas circunstancias se pueden usar métodos semiclásicos para construir las funciones de onda. Varios autores han realizado deducciones o compilaciones de estos métodos [11], [2]. Para los cálculos numéricos del presente trabajo usamos el resumen incorporado en [10].

La aproximación semiclásica uniforme UWKB [12] permite obtener una expresión analítica para los corrimientos de fase y expresar la solución regular  $\Phi_\beta^\times(\ell, r)$  en términos de la función de Airy  $Ai(-z)$ :

$$\eta_\beta(\ell) = \lim_{r \rightarrow \infty} \int_{r_0}^r [K_\beta(k_\beta, \ell; r') - k_\beta] dr' - k_\beta r_0 + \frac{1}{2} \left( \ell + \frac{1}{2} \right) \pi,$$

$$\Phi_\beta^\times(\ell, r) = \sqrt{\pi K_\beta} |F_\beta(\ell)| H_\beta(\ell, r) Ai(-Z_\beta(\ell, r)),$$

donde  $r_0$  es un punto de retorno clásico, definido por

$$K_\beta^2(\ell; r_0) = k_\beta^2 - U_{\beta\beta}(r_0) - \frac{(\ell + \frac{1}{2})^2}{r_0^2} = 0.$$

$$Z_\beta(\ell, r) = \pm \left| \frac{3}{2} \int_{r_0}^r K_{ef}(\beta, \ell, r') dr' \right|^{2/3}, \quad (19)$$

es el argumento de la función de Airy. En esta expresión, el signo + se usa para la región clásicamente permitida ( $r > r_0$ ) y el signo menos (-) para la región clásicamente prohibida ( $r < r_0$ ).

## 6. Colisión inelástica $\text{He}^+ + \text{Ne}$

La dispersión elástica e inelástica de este sistema fue investigada experimentalmente por Coffey, Lorents, y Smith [13] para la energía centro de masa de  $E = 70.9$  eV. En esta colisión, entre iones de helio  $\text{H}^+$  y átomos de Ne en el estado base, éste último es excitado al estado  $\text{Ne}^*(2p^5 3s)$ .

Olson y Smith [14] estudiaron inicialmente este sistema usando las teorías de LZS y DW. Posteriormente

Eu y Tsien [15] hicieron uso de la teoría semiclásica uniforme WKB. Desde entonces numerosos trabajos se han desarrollado en los cuales este sistema es objeto de interés, entre otros [7], [10], [14], [15], [16], [17].

En el presente estudio se utilizan las formas funcionales propuestas por Olson y Smith [14] para los potenciales que describen el estado base  $[\text{He}^+-\text{Ne}(2p^6)]$  y el estado excitado  $[\text{He}^+-\text{Ne}(2p^53s)]$  del sistema bajo estudio. Estos potenciales en unidades atómicas son:

$$V_{11}(r) = \frac{21.1}{r} \exp\left(-\frac{r}{0.678}\right),$$

$$V_{22} = \left(\frac{21.1}{r} - 12.1\right) \exp\left(-\frac{r}{0.678}\right) + 0.6174,$$

$$V_{12}(r) = 0.18 \exp\left(-\frac{r}{0.667}\right).$$

El sistema 2 de ecuaciones arriba citado adopta en este ejemplo la siguiente forma explícita:

$$\frac{d}{dr} \mathcal{G}_{12}(\ell, r) = -\sqrt{\frac{\pi}{k_1}} \frac{\text{Ai}(-Z_1(\ell, r))}{\sqrt{Z_1'(\ell, r)}} U_{12}(r) \times$$

$$\exp\left[i\left(k_2 r + \eta_1(\ell) - \frac{\ell\pi}{2}\right)\right] \mathcal{G}_{22}(\ell, r)$$

$$- \pi \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \frac{\text{Ai}(-Z_1(r))}{\sqrt{Z_1'(\ell, r)}} \frac{\text{Ai}(-Z_2(\ell, r))}{\sqrt{Z_2'(\ell, r)}} \times$$

$$U_{12}(r) \exp[i(\eta_1(\ell) + \eta_2(\ell))],$$

$$\frac{d}{dr} \mathcal{G}_{22}(\ell, r) = -\sqrt{\frac{\pi}{k_2}} \frac{\text{Ai}(-Z_2(\ell, r))}{\sqrt{Z_2'(\ell, r)}} U_{12}(r) \times$$

$$\exp\left[i\left(k_1 r + \eta_2(\ell) - \frac{\ell\pi}{2}\right)\right] \mathcal{G}_{12}(\ell, r).$$

donde  $\eta_k(\ell)$ ,  $k = 1, 2$ , designa los corrimientos de fase de los canales 1 y 2, en ausencia de acoplamiento con otros canales,  $U_{12}(r) := 2\mu V_{21}(r)/\hbar^2$  y  $\mu$  es la masa reducida del sistema. Como se mencionó antes, sólo es necesario resolver uno de los dos sistemas de ecuaciones diferenciales acopladas. Sin embargo, si se quiere probar la simetría de la matriz  $S(\ell)$ , es necesario resolver ambos sistemas.

La probabilidad de transición inelástica como función de  $\ell$  se muestra en la figura 1. Nótese que para  $\ell > 350$  estas probabilidades tienden rápidamente a cero, comportamiento que justifica que los cálculos sólo se hagan hasta un cierto valor máximo de  $\ell$ , por ejemplo  $\ell_{\max} = 320$ .

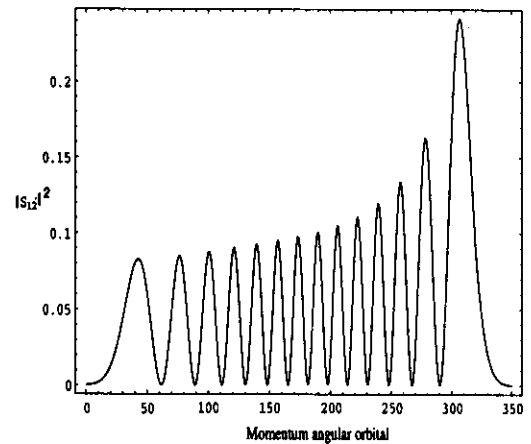


Figura 1. Probabilidad de transición como función del momento angular orbital  $\ell$ .

En la figura 2 se compara la sección eficaz diferencial inelástica experimental con los datos teóricos que se han obtenido por aplicación de la aproximación descrita en el presente trabajo. Como se observa la concordancia con los resultados experimentales es bastante buena.

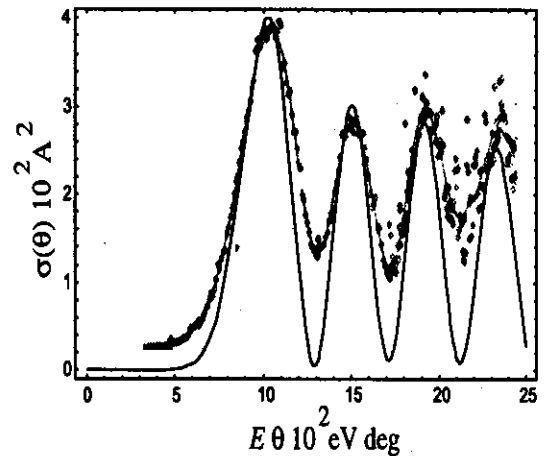


Figura 2. Comparación entre la sección eficaz diferencial calculada en el presente trabajo y datos experimentales [13].

La sección eficaz total inelástica se determinó por aplicación de la expresión

$$\sigma_{12} = \frac{\pi}{k_1^2} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell + 1) |S_{12}|^2$$

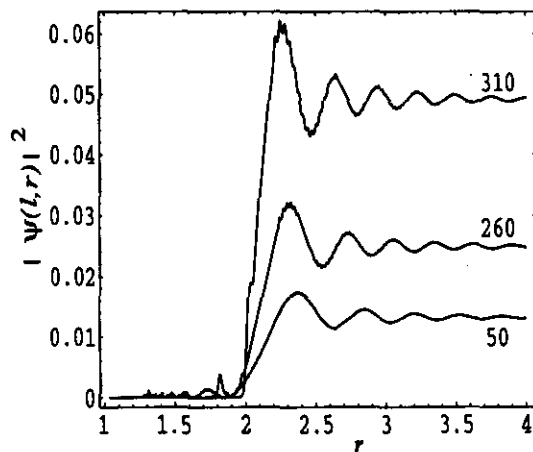
y los resultados se muestran en la tabla 1, en conjunto con los que generan las aproximaciones UWKB, DW y LZS para la energía de  $E = 70.9\text{eV}$ .

Aproximación	LZS <sup>a</sup>	DW <sup>b</sup>	UWKB <sup>a</sup>	Presente
$\sigma_{21} (ua^2)$	0.892	0.729	0.719	0.781

**Tabla 1.** Sección eficaz total inelástica.  
Referencias: <sup>a</sup>[15], <sup>b</sup>[14].

Por último, obtuvimos la densidad de probabilidad para un estado de momentum angular  $\ell$  a partir de (9) y por extensión de la aproximación propuesta en el presente trabajo para todo el rango de valores de  $r$ , esto es,

$$\bar{\Psi}_{\beta\alpha}(\ell, r) := \varepsilon_{\beta}^{+}(r) G_{\beta\alpha}(\ell, r) \approx \varepsilon_{\beta}^{+}(\ell, r) G(\ell, r).$$



**Figura 3.** Densidad de probabilidad como función de  $r$  para varios valores del momentum angular  $\ell$ .

La figura 3 muestra el comportamiento de la densidad de probabilidad inelástica para  $\ell = 50, 260$  y  $310$ . Nótese que la máxima amplitud de probabilidad se alcanza siempre en la región de cruce de los potenciales elásticos ( $2 < r < 2.5$ ) y que el estado de momentum angular (onda parcial)  $\ell = 310$  es el de mayor amplitud en dicha región. Este hecho está en perfecta concordancia con lo que muestra la figura 1. Para grandes valores de  $r$  la probabilidad de transición alcanza valores constantes, como lo exige la teoría.

## 7. Conclusión

En este artículo se ha propuesto un método de aproximación para el estudio de procesos inelásticos y para el cálculo de la matriz  $S(\ell)$ , y se ha aplicado al análisis del sistema  $\text{He}^+ + \text{Ne}$ . La estructura sencilla del sistema de ecuaciones diferenciales que se debe resolver, así como los buenos resultados obtenidos en su aplicación, indican que el método es de utilidad y competitivo con relación

a otras aproximaciones. El método carece además de una serie de limitaciones que son características de otras aproximaciones. Por ejemplo, la teoría se puede aplicar a un problema multicanal y no requiere la exigencia de que los potenciales diagonales se crucen.

Desde el punto de vista numérico el método tiene grandes ventajas ya que la ecuación integral que determina la matriz  $S(\ell)$  se puede transformar en un sistema de ecuaciones diferenciales acopladas, para el cual existen excelentes métodos de solución numérica. El presente tratamiento de procesos inelásticos hace uso óptimo de las propiedades físicas que posee el sistema, es especial si es posible emplear métodos semiclásicos para tratar el problema no acoplado.

Es de anotar que el método se ha probado con éxito para acoplamiento débil entre los diferentes canales. Sin embargo, en el caso de acoples intensos se ha observado que la unitariedad de la matriz  $S(\ell)$  se afecta de manera importante, generando que se sobreestime la sección eficaz diferencial inelástica. Afortunadamente en las colisiones atómicas de interés actual, los potenciales de acoplamiento no son muy intensos y la aproximación se puede usar con éxito.

## 8. Apéndice

En este apéndice se discute brevemente la generalidad de la expresión (13). En analogía con lo que se hace en la aproximación DW, suponemos que la solución elástica (regular) del canal de entrada domina el comportamiento del sistema en los otros canales. Entonces, en promedio  $|\Psi_{\alpha\alpha}(\ell, r)| = |\varphi_{\alpha}^{\times}(\ell, r)| \gg |\Psi_{\beta\alpha}(\ell, r)|$  y, de la ecuación (6), se concluye que  $\bar{\Psi}_{\alpha\alpha}(\ell, r) = 0$ . Por lo tanto de (11), (17), (9) y (16) tenemos para  $\alpha \neq \beta$

$$\begin{aligned} S_{\beta\alpha}(\ell) &= -2i(k_{\alpha} k_{\beta})^{-1/2} \times \\ &\int_0^{\infty} dR \varphi_{\beta}^{\times}(\ell, R) U_{\beta\alpha}(\ell, R) \varphi_{\alpha}^{\times}(\ell, R) \\ &= -2i(k_{\alpha} k_{\beta})^{-1/2} \exp[i(\eta_{\alpha}(\ell) + \eta_{\beta}(\ell))] \\ &\int_0^{\infty} \psi_{\beta}(\ell, r) U_{12}(r) \psi_{\alpha}(\ell, r) dr, \end{aligned}$$

donde  $\psi_{\beta}(\ell, r)$  es la solución regular del sistema, normalizada en la forma

$$\psi_{\beta}(\ell, r) \underset{r \rightarrow \infty}{=} \sin\left(k_{\beta} r - \frac{\ell\pi}{2} + \eta_{\beta}(\ell)\right).$$

Nótese que esta solución está relacionada con la solución regular  $\varphi_{\beta}^{\times}(\ell, r)$  por

$$\varphi_{\beta}^{\times}(\ell, r) = \exp(i\eta_{\beta}(\ell))\psi_{\beta}(\ell, r).$$

Si se tiene en cuenta que

$$S_{\beta\alpha}(\ell) = \delta_{\beta\alpha} - iT_{\beta\alpha}(\ell),$$

entonces, en el caso que estamos considerando  $\alpha \neq \beta$ , se recupera el elemento de la matriz de transición DW,

$$T_{\beta\alpha}(\ell) = 2(k_{\beta}k_{\alpha})^{-1/2} \exp[i(\eta_{\alpha}(\ell) + \eta_{\beta}(\ell))] \int_0^{\infty} \psi_{\beta}(\ell, r) U_{12}(r) \psi_{\alpha}(\ell, r) dr.$$

En lo referente a la aproximación de Born ésta es un caso particular de la DW. Además de suponer que el comportamiento del sistema es dominado por la solución regular del canal incidente, se considera que la función de onda incidente no se deforma de manera apreciable y que se comporta como una onda plana. Esto significa que en promedio

$$|\Psi_{\alpha\alpha}(\ell, r)| = |\varphi_{\alpha}^{\times}(\ell, r)| = k_{\alpha}r |J_{\ell}(k_{\alpha}r)| \gg |\Psi_{\beta\alpha}(\ell, r)|,$$

donde  $\ell$  es el momentum angular y  $J_{\ell}(k_{\beta}r)$  es la función esférica de Bessel de orden  $\ell$ . En estas circunstancias el elemento  $S_{\beta\alpha}(\ell)$  está dado por

$$S_{\beta\alpha}(\ell) = -2i(k_{\alpha}k_{\beta})^{-1/2} \times \int_0^r J_1(k_{\beta}R) U_{\beta\alpha}(R) J_1(k_{\alpha}R) R^2 dR.$$

Esta expresión conduce a su vez a la amplitud de transición que se obtiene mediante la aproximación de Born.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Doctor José Fernando Isaza y a la Fundación Mazda para el Arte y la Ciencia el otorgamiento de una beca para la realización de los estudios de Maestría en Física (HRM).

## REFERENCIAS

- [1] N. F. Mott y H. S. W. Massey, The Theory of Atomic Collision, 3rd ed., Oxford University Press, London (1965)
- [2] M. S. Child, Molecular Collision Theory, Academic Press, London (1974)
- [3] L. Landau, Physik. Z. Sowjetunion. 2, 46-51 (1932)
- [4] C. Zener, Proc. R. Soc. London Ser. A 137, 696-702 (1932)
- [5] E. C. G. Stückelberg, Helv. Phys. Acta 5, 369-422 (1932)
- [6] M. S. Child, Electronic Excitation: Nonadiabatic Transitions, 427-465, en Atom-Molecule Collision Theory. A Guide for Experimentalist, R. B. Bernstein (Ed.), Plenum Press, New York (1979)
- [7] B. C. Eu, Semiclassical Theories of Molecular Scattering, Springer-Verlag, New York (1984)
- [8] D. Campos, Documento interno: Ecuación integral para la Matriz S, Dpto de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (1997)
- [9] D. Campos, J. Phys. B: At. Mol. Phys. 14, 2585-2597 (1981)
- [10] D. Campos, J. M. Tejeiro y F. Cristancho Z. Naturforsch. 41 a, 704-714 (1986)
- [11] M. V. Berry y K. E. Mount, Rep. Prog. Phys. 35, 315 (1972)
- [12] S. C. Miller y R. H. Good, Phys. Rev. 91, 174 (1953)
- [13] D. Coffey Jr., D. C. Lorents y F. T. Smith, Phys. Rev. 87, 201 (1969)
- [14] R. E. Olson y F. T. Smith, Phys. Rev. A3, 1607 (1971)
- [15] B. C. Eu y T. P. Tsien, Phys. Rev. A7, 648 (1973)
- [16] J. M. Tejeiro, Tesis de Magister en Física, Dpto. de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (1984)
- [17] F. Cristancho, Tesis de Magister en Física. Dpto. de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (1985)



# UN MÉTODO PARA UNIR LAS DINÁMICAS CLÁSICA Y CUÁNTICA

por

Luis Sandoval<sup>1,2</sup> & Diógenes Campos<sup>1,3</sup>

## Resumen

**Sandoval L., & Campos D.:** Un método para unir las dinámicas clásica y cuántica. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24(93): 529-534, 2000. ISSN 0370-3908.

Se describe un método que relaciona operadores del espacio de Hilbert con operadores que actúan sobre funciones de onda definidas sobre el espacio de fase. El procedimiento se vale de las propiedades del operador de Weyl, extendido al plano complejo, y de la introducción de una función  $S(Q, P, t)$  que está relacionada de manera estrecha con la acción clásica. Al transformar el hamiltoniano del sistema al espacio de fase y expandirlo en potencias de la constante de Planck, se hacen explícitas las contribuciones cuánticas al problema y se identifica una dinámica clásica subyacente que permite trayectorias complejas. En el límite clásico, la ecuación de Schrödinger en el espacio de fase se convierte en una ecuación de Liouville para la función de onda. El artículo concluye con la aplicación del método al estudio de la dinámica de un oscilador cuártico.

**Palabras clave:** Espacio de fase, trayectorias complejas, oscilador cuártico, función de Husimi.

## Abstract

We describe a method that links Hilbert-space and phase-space operators. This procedure use Weyl's operator with complex parameters of position  $Q$  and momentum  $P$  and a function  $S(Q, P, t)$  related with the classical action. The phase-space Hamiltonian of the system is expanded as a sum of differential operators depending of Planck's constant  $\hbar$ . This allows to identify the leading quantum contribution and define a complex classical dynamics. In the limit  $\hbar \rightarrow 0$ , the Schrödinger equation is transformed in a Liouville's equation for the phase-space wavefunction. The article ends with the application of the method to study the dynamics of a quartic oscillator.

**Key words:** Phase space, complex trajectories, quartic oscillator, Husimi function.

<sup>1</sup> Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

<sup>2</sup> E-mail: luiss@168.176.8.55

<sup>3</sup> E-mail: dcamposr@168.176.9.40

## 1. Introducción

Es bien conocido que la tecnología avanza hacia la miniaturización a escalas atómicas y moleculares, cayendo así en el dominio de la mecánica cuántica. Tal proceso involucra necesariamente la indagación acerca de la forma en la que las dinámicas cuántica y clásica se relacionan.

De acuerdo con el principio de correspondencia, la mecánica cuántica debe reducirse a la dinámica clásica en el límite en el que la constante de Planck tiende a cero. Por lo tanto un análisis de las características dinámicas y estructurales que intervienen en este límite sugiere que ambas dinámicas se enmarquen dentro de estructuras matemáticas comunes. La mecánica clásica hamiltoniana se formula en el espacio de fase, lo cual sugiere la conveniencia de representar la mecánica cuántica en término de cantidades definidas en este espacio. Esta metodología es crucial, más aún considerando que la integrabilidad es la excepción dentro de los sistemas mecánicos clásicos y que, por razones teóricas y tecnológicas, es importante investigar las manifestaciones cuánticas del caos clásico.

Entre los métodos para formular la mecánica cuántica en el espacio de fase son de mencionarse los siguientes: Por un lado, el de las funciones de distribución cuánticas [1], [2], [3] en las que el estado se representa por una función que se asemeja en cierto grado a las distribuciones de la mecánica estadística clásica, a los observables se asocian funciones definidas en el espacio de fase y las ecuaciones de movimiento son liouvillianas. Por otro lado, los métodos de vectores de estado [4],[5], [6], en los cuales al estado cuántico se le asocia una función de onda definida en el espacio de fase, los observables se representan por operadores diferenciales y las ecuaciones de movimiento son del tipo Schrödinger.

El presente artículo se enmarca en el método de vectores de estado y hace uso de una formulación reciente [6]. La sección 2 trata la forma de asociar a una función del operador posición (o del operador momentum) el correspondiente operador diferencial que actúa sobre funciones de onda definidas en el espacio de fase. En la sección 3 se construye la imagen de la ecuación de Schrödinger en el espacio de fase y se especifica la dinámica clásica asociada con el problema cuántico, en lo que se ha denominado el proceso de *clásicalización* [6]. En la sección 4 se generaliza el concepto de estado coherente recurriendo al campo de los números complejos. En la sección 5 se hace uso del método para estudiar la dinámica clásica asociada al oscilador armónico cuántico

y de doble pozo. Finalmente en la sección 6 se presentan algunas conclusiones.

## 2. Correspondencia entre operadores

En lo que sigue se denota con  $\mathcal{H}$  el espacio de Hilbert de un sistema mecánico-cuántico unidimensional, y se designan por  $\hat{q}$  y  $\hat{p}$  los operadores básicos de posición y momentum, respectivamente. Se introduce el operador de Weyl [6]

$$\hat{D}(Q, P) := \exp \left[ \frac{i}{\hbar} (P\hat{q} - Q\hat{p}) \right], \quad (1)$$

con parámetros de posición  $Q$  y momentum  $P$  que pertenecen, en general, al campo de los números complejos  $\mathcal{C}$ . El inverso del operador de Weyl está dado por

$$\hat{D}^{-1}(Q, P) = \hat{D}(-Q, -P). \quad (2)$$

Introducimos ahora una función arbitraria  $S(Q, t)$ , bien comportada, que depende de la variable de posición  $Q$  y del tiempo  $t$ , pero es independiente del impulso  $P$ . Definimos igualmente un operador de Weyl modificado,  $\hat{S}(Q, P, t)$ , a través de la expresión

$$\hat{S}(Q, P, t) := \exp \left[ -\frac{i}{\hbar} \left( S(Q, t) - \frac{1}{2}QP \right) \right] \hat{D}^{-1}(Q, P). \quad (3)$$

Esta entidad al actuar sobre los operadores fundamentales de posición e impulso genera las siguientes relaciones que establecen conexiones entre operadores en el espacio de Hilbert  $\mathcal{H}$  y operadores en el espacio de fase complejo  $\Omega_{QP}$ :

$$\hat{S}(Q, P, t)\hat{q} = \check{Q}_+\hat{S}(Q, P, t), \quad (4)$$

$$\hat{S}(Q, P, t)\hat{p} = \check{P}_+\hat{S}(Q, P, t). \quad (5)$$

En  $\Omega_{QP}$  actúan los operadores diferenciales

$$\check{Q}_+ := Q + i\hbar \frac{\partial}{\partial P}, \quad (6)$$

$$\check{P}_+ := \frac{\partial S}{\partial Q} - i\hbar \frac{\partial}{\partial Q} \quad (7)$$

que obedecen la relación de conmutación canónica

$$[\check{Q}_+, \check{P}_+] = i\hbar. \quad (8)$$

Al usar (4) y (5) de manera iterativa se obtiene

$$\hat{S}(Q, P, t)F(\hat{q}) = F(\check{Q}_+)\hat{S}(Q, P, t), \quad (9)$$

$$\hat{S}(Q, P, t)F(\hat{p}) = F(\check{P}_+)\hat{S}(Q, P, t), \quad (10)$$

donde  $F(x)$  es una función arbitraria que se puede desarrollar en series de potencias de la variable  $x$ , la cual

se puede substituir por el operador básico de posición  $\hat{q}$  (o de impulso  $\hat{p}$ ).

### 3. Ecuación de Schrödinger en $\Omega_{QP}$

En esta sección se considera la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo para un sistema con hamiltoniano  $H(\hat{q}, \hat{p}, t)$  y estado  $|\psi(t)\rangle$  en el instante de tiempo  $t$ . Se quiere formular la ecuación de movimiento en el espacio de fase  $\Omega_{QP}$ .

Para esto definimos un ket  $|\psi_+(Q, P, t)\rangle$  que asociamos al estado  $|\psi(t)\rangle$  por medio de la transformación

$$|\psi_+(Q, P, t)\rangle := \hat{S}(Q, P, t)|\psi(t)\rangle, \quad (11)$$

calculamos el conmutador

$$\left[ \hat{S}(Q, P, t), \frac{\partial}{\partial t} \right] = \frac{i}{\hbar} \frac{\partial S(Q, t)}{\partial t} \hat{S}(Q, P, t) \quad (12)$$

y nos restringimos a sistemas cuyo Hamiltoniano es del tipo *standard* (energía cinética más energía potencial),

$$H(\hat{q}, \hat{p}, t) = \frac{\hat{p}^2}{2m} + V(\hat{q}, t). \quad (13)$$

Al multiplicar la ecuación de Schrödinger por la izquierda con el operador  $\hat{S}(Q, P, t)$ , obtenemos

$$i\hbar \hat{S}(Q, P, t) \frac{\partial}{\partial t} |\psi\rangle = \hat{S}(Q, P, t) H(\hat{q}, \hat{p}, t) |\psi\rangle. \quad (14)$$

Como consecuencia de (9), (10) y (12) la ecuación anterior se puede escribir en la forma

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi_+(Q, P, t)\rangle = \left[ \frac{\partial S(Q, t)}{\partial t} + H(\check{Q}_+, \check{P}_+, t) \right] |\psi_+(Q, P, t)\rangle. \quad (15)$$

El operador  $\check{H}_+ = H(\check{Q}_+, \check{P}_+, t)$ , que es la imagen del hamiltoniano  $H(\hat{q}, \hat{p}, t)$  en el espacio de fase, se puede descomponer como la suma de tres contribuciones,

$$\check{H}_+ = K + \hbar \check{L} + \check{D}_+, \quad (16)$$

que se expresan por los siguientes operadores definidos en el espacio de fase  $\Omega_{QP}$ :

$$K := H\left(Q, \frac{\partial S}{\partial Q}, t\right) - \frac{i\hbar}{2m} \frac{\partial^2 S}{\partial Q^2}, \quad (17)$$

$$\check{L} := -i \left[ \frac{1}{m} \frac{\partial S}{\partial Q} \frac{\partial}{\partial Q} - \frac{\partial V}{\partial Q} \frac{\partial}{\partial P} \right], \quad (18)$$

$$\check{D} := -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial Q^2} + \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(i\hbar)^n}{n!} \frac{\partial^n V}{\partial Q^n} \frac{\partial^n}{\partial P^n}. \quad (19)$$

Nótese que  $K(Q, p, t)$ , con  $p = \frac{\partial S(Q, t)}{\partial Q}$ , es un operador *multiplicación* que se puede interpretar como el hamiltoniano que describe un sistema clásico subyacente al sistema cuántico (ver 24 y 25). El operador  $\check{L}$  es el análogo al operador de Liouville y  $\check{D}$  conlleva las contribuciones en la constante de Planck de orden  $\hbar^n$ ,  $n \geq 2$ .

En lo anterior hemos considerado una función  $S(Q, t)$  bien comportada, pero arbitraria. Una gran simplificación se logra en la teoría (ver 15) al elegir  $S(Q, t)$  de tal manera que satisfaga la ecuación

$$\frac{\partial S}{\partial t} + K\left(Q, \frac{\partial S}{\partial Q}, t\right) = 0, \quad (20)$$

o, de manera más explícita,

$$\frac{\partial S}{\partial t} + H\left(Q, \frac{\partial S}{\partial Q}, t\right) - \frac{i\hbar}{2m} \frac{\partial^2 S}{\partial Q^2} = 0. \quad (21)$$

Es de anotar que en el límite  $\hbar \rightarrow 0$  la ecuación (21) se reduce a la ecuación clásica de Hamilton-Jacobi. Por lo tanto, con el propósito de tener una dinámica hamiltoniana, se debe escoger como condición inicial de (21)  $S(Q, t_0) = P_0 Q$ , donde  $(Q_0, P_0) := (Q(t_0), P(t_0))$  son valores iniciales de posición e impulso. Debido a la similitud con el caso clásico, la ecuación (21) se denomina *ecuación cuántica de Hamilton-Jacobi*.

Con la elección anterior de  $S(Q, t)$ , la imagen de la ecuación de Schrödinger en el espacio de fase se reduce a la forma

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi_+(Q, P, t)\rangle = [\hbar \check{L} + \check{D}] |\psi_+(Q, P, t)\rangle, \quad (22)$$

con una condición inicial consistente con la transformación (11) y con los valores iniciales  $(Q_0, P_0)$ .

En el límite  $\hbar \rightarrow 0$ , la ecuación (22) se reduce a

$$\frac{\partial}{\partial t} |\psi_+(Q, P, t)\rangle = -i \check{L} |\psi_+(Q, P, t)\rangle. \quad (23)$$

A diferencia de la mecánica estadística clásica donde una distribución de probabilidad obedece la ecuación de Liouville, la ecuación (23) es de Liouville pero gobierna la evolución temporal del estado vectorial  $|\psi_+(Q, P, t)\rangle$  o, si el lector lo prefiere, de la amplitud de probabilidad (elegir una representación).

Es de anotar que las características de la ecuación (21) son dadas por las *ecuaciones generalizadas de Hamilton* [6]:

$$\dot{Q} = \frac{1}{m} \frac{\partial S}{\partial Q}, \quad (24)$$

$$\dot{P} = -\frac{\partial V}{\partial Q}, \quad (25)$$

las cuales determinan *trayectorias* en el espacio de fase y estas trayectorias son, en general, complejas. Trayectorias de estas características aparecen también en otros métodos teóricos [7]. En el límite  $\hbar \rightarrow 0$ , (24) y (25) reproducen las trayectorias reales convencionales descritas por las ecuaciones de Hamilton, ya que  $P = \partial S(Q, t)/\partial Q$ .

#### 4. Representación de estados coherentes

Para aplicar la teoría antes expuesta es necesario adoptar una representación, la cual elegimos como los estados coherentes de Glauber [8], [9], excepto que permitimos su extensión al plano complejo:

$$|Z\rangle \equiv \hat{D}(Q^*, P^*)|0\rangle, \quad Z \in \mathcal{C}. \quad (26)$$

El asterisco (\*) indica conjugación compleja y  $|0\rangle$  es el estado base de un oscilador armónico unidimensional. El estado (26) lo podemos expresar como

$$|Z\rangle = \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\left(\frac{Q^*}{q_0}\right)^2 + \left(\frac{P^*}{p_0}\right)^2\right)\right] \times \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Z^n}{\sqrt{n!}}|n\rangle, \quad (27)$$

con

$$Z = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{Q^*}{q_0} + i\frac{P^*}{p_0}\right) \quad (28)$$

y  $q_0 p_0 = \hbar$ .

La representación del estado  $|\psi_+(Q, P, t)\rangle$  en el espacio de fase se hace mediante la la función de onda

$$\psi_+(Q, P, t) := \langle 0|\psi_+(Q, P, t)\rangle. \quad (29)$$

La forma de la ecuación de Schrödinger (22) queda inmodificada, excepto por el cambio  $|\psi_+\rangle \rightarrow \psi_+(Q, P, t)$ .

La cantidad en que estamos interesados es la *función de Husimi* extendida al plano complejo, la cual definimos mediante la expresión

$$\rho_H(Q, P, t) := |\langle Z|\psi(t)\rangle|^2. \quad (30)$$

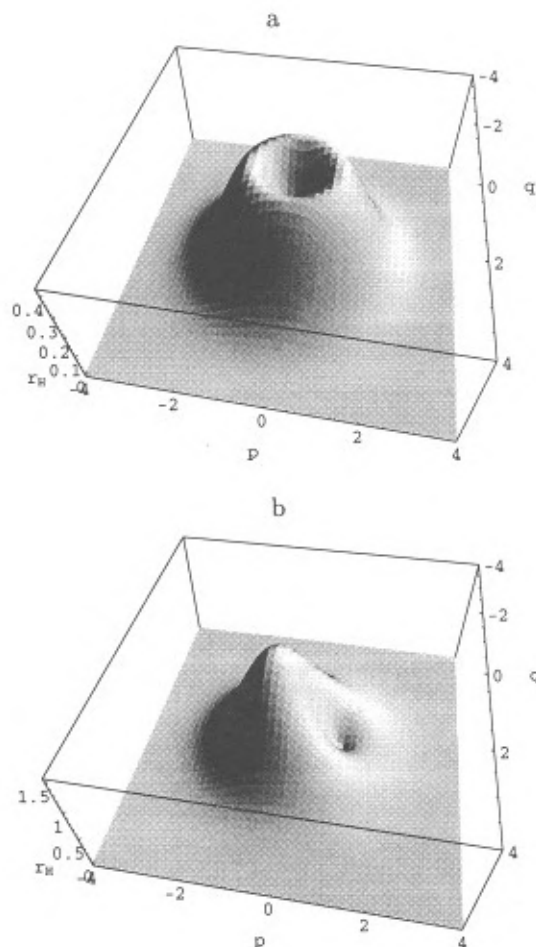
Es de observar la relación

$$|\psi_+(Q, P, t)|^2 = \exp\left[\frac{2}{\hbar} \text{Im}\left(S - \frac{QP}{2}\right)\right] \rho_H(Q, P, t) \quad (31)$$

que constituye un puente entre la función de Husimi y la imagen  $\psi_+(Q, P, t)$ .

La definición (30) coincide con el concepto estándar de función de Husimi, la cual se restringe a argumentos reales  $Q$  y  $P$ . Tal como se ilustra en la figura 1, la generalización a valores complejos de  $Q$  y  $P$  permite la emergencia de una mayor diversidad de paquetes de onda. En la figura 1. se representa la función de Husimi

para el estado  $|1\rangle$  de un oscilador armónico unidimensional, generando la figura así: (a) con valores reales de  $Q$  y  $P$ , (b) con una contribución imaginaria de la posición  $Q$ .



**Figura 1.** Función de Husimi para el estado  $|1\rangle$  del oscilador armónico, generada como sigue: (a) con la parte real del espacio de fase complejo,  $\rho_H(\text{Re}Q, \text{Re}P, t_0)$ , (b) con contribución no nula de la parte imaginaria de la posición,  $\rho_H(\text{Re}Q + i, \text{Re}P, t_0)$ .

#### 5. Ejemplos

Considerar el Hamiltoniano

$$H(\hat{q}, \hat{p}, t) = \frac{\hat{p}^2}{2m} + A\hat{q}^4 + B\hat{q}^2, \quad (32)$$

el cual, según los valores de  $A$  y  $B$ , incluye como casos particulares los siguientes sistemas: oscilador armónico, cuártico y doble pozo. En lo que sigue mostramos la

dinámica clásica que conllevan las ecuaciones de Hamilton generalizadas, (24) y (25).

### a. Oscilador armónico

Considerar  $A = 0$  y  $B = m\omega^2/2$ . La solución de la ecuación cuántica de Hamilton-Jacobi (21) es dada por

$$S(Q, P_o, t) = -\frac{P_o^2}{2m\omega} \tan(\omega t) + P_o \sec(\omega t) Q - \frac{m\omega}{2} \tan(\omega t) Q^2 + \frac{i\hbar}{2} \ln[\cos(\omega t)], \quad (33)$$

que puede expresarse como

$$S(Q, P_o, t) = S_{cl}(Q, P_o, t) + \frac{i\hbar}{2} \ln(\omega t), \quad (34)$$

donde  $S_{cl}$  denota la función acción clásica. El último sumando no depende de  $Q$  o  $P$  y, por lo tanto, (24) y (25) generan la dinámica clásica estándar, siempre y cuando se cumpla la condición inicial  $S(Q, 0) = P_o Q$ , con  $P_o, Q_o \in \mathcal{R}$ .

La solución del oscilador armónico sugiere que, en general, la condición inicial para la función  $S(Q, t)$  determina el carácter estándar, o no, de la dinámica clásica asociada con las ecuaciones de Hamilton generalizadas. Al elegir  $S(Q, 0) = P_o Q$ , con  $P_o, Q_o \in \mathcal{R}$ , se garantiza que en la etapa inicial la evolución temporal está gobernada por una transformación canónica real, y que para tiempos posteriores a  $t_0$  la parte real de la dinámica coincide con la estándar. En lo que sigue mostramos este comportamiento en el caso de los osciladores cuántico y de doble pozo.

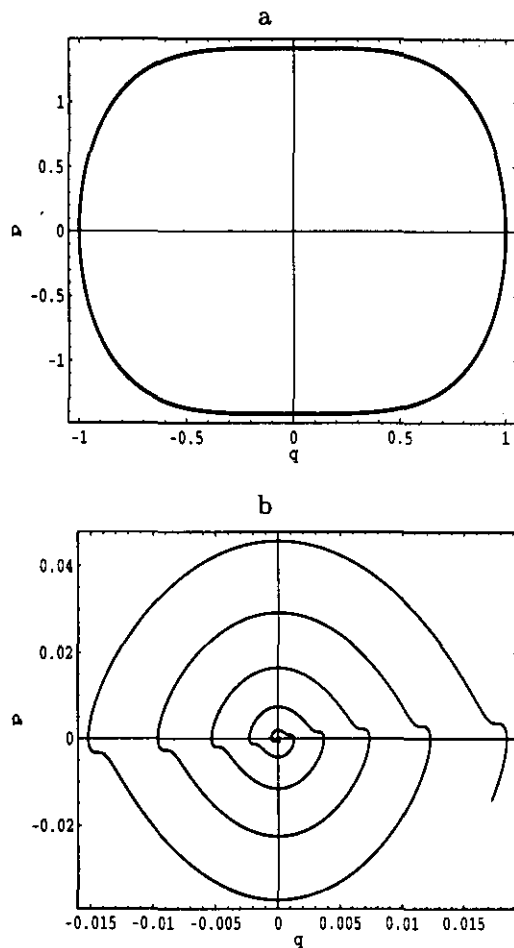
### b. Oscilador cuántico

Con el propósito de realizar el experimento numérico fijamos en (32)  $A = 1$  y  $B = 0$ . En las figs. 2a. y 2b. presentamos la parte real e imaginaria de la trayectoria generada por las ecuaciones de Hamilton generalizadas, considerando condiciones iniciales reales. Al tomar la parte real de la trayectoria compleja se obtiene la trayectoria clásica estándar que sería generada por las ecuaciones de Hamilton. Nótese que en el instante inicial  $t_0$  la parte imaginaria de la trayectoria se anula por la elección de la condición inicial para  $S(Q, t_0)$ .

Si las condiciones iniciales fueran complejas, la parte real de la trayectoria diferiría de la estándar, lo cual se ilustra en las figs. 3a. y 3b.

### c. Oscilador de doble pozo

En este caso elegimos en (32)  $A = 0.5$  y  $B = -10$ . Mostramos en las figuras 4a y 4b la proyección de la trayectoria en la parte real e imaginaria del espacio de

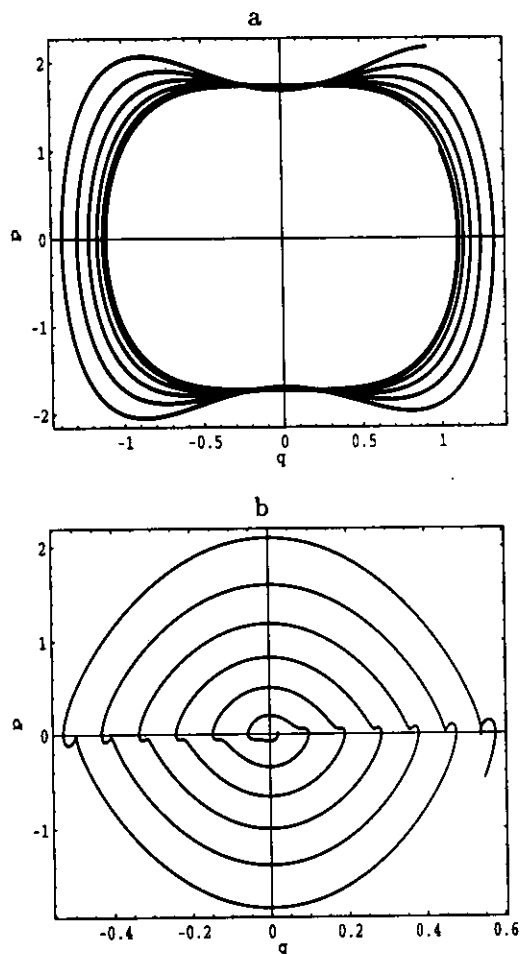


**Figura 2.** Oscilador cuántico ( $\hbar = 1, m = 1$ ) (a) Parte real de la trayectoria con condición inicial  $Q_0 = (1, 0)$  y  $P_0 = (0, 0)$ . (b) Parte imaginaria de la misma trayectoria.

fase, respectivamente, para una condición inicial real que determina confinamiento clásico en un pozo. Una vez más se obtiene que la parte real de la trayectoria coincide con la estándar.

## 6. Conclusiones

En el presente artículo hemos ilustrado el procedimiento de *clásicalización* [6] que permite asociarle un sistema clásico a un sistema cuántico. Se ha visto que ese sistema obedece las *ecuaciones de Hamilton generalizadas* en lugar de las ecuaciones de Hamilton estándar. Sin embargo, los ejemplos muestran que las trayectorias generadas por estas últimas se obtienen de las primeras tomando la parte real de  $(Q(t), P(t))$ . La parte imaginaria de la trayectoria genera una modificación en la

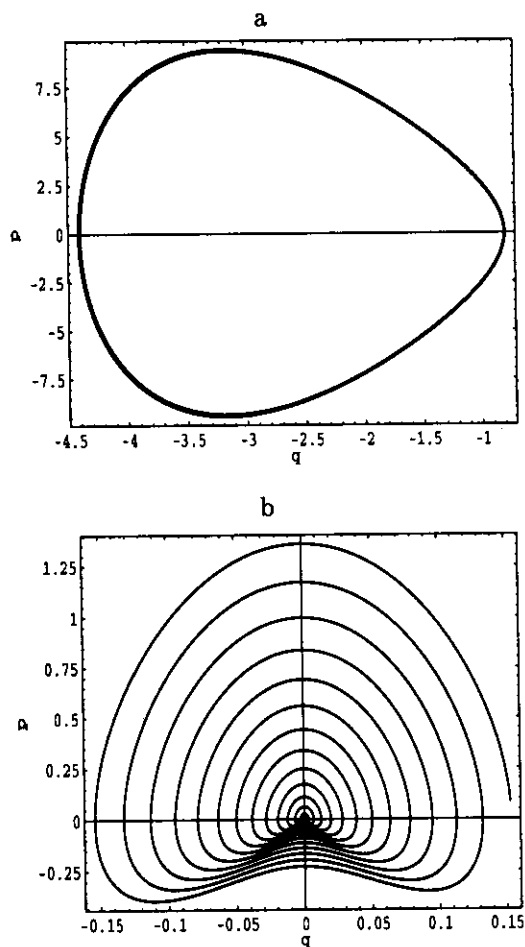


**Figura 3.** Oscilador cuártico ( $\hbar = 1, m = 1$ ) (a) Parte real de la trayectoria con condición inicial  $Q_0 = (1, 0.02)$  y  $P_0 = (1, 0.02)$ . (b) Parte imaginaria de la misma trayectoria.

estructura de la función de Husimi flexibilizando su comportamiento y dando posibilidades de mayor riqueza en cálculos cuánticos. Estos temas serán explorados en próximos trabajos.

#### Agradecimientos.

Los autores agradecen a a Carlos Viviescas por estimulantes discusiones sobre el tema y al Prof. D Bogoya por su apoyo al Grupo de Caos y Complejidad (C&C).



**Figura 4.** Oscilador de doble pozo ( $\hbar = 1, m = 1$ ): (a) Parte real de la trayectoria con condición inicial  $Q_0 = (-4.4, 0)$  y  $P_0 = (0, 0)$ . (b) Parte imaginaria de la misma trayectoria.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Hillery, R. F. O'Connell, M. Scully y E. P. Wigner, Phys. Rep. 106, 121 (1984)
- [2] H. Lee, Phys. Rep. 259, 147 (1995)
- [3] D. Campos, Momento 6, 5 (1992)
- [4] D. Campos, Momento 9, 3 (1995)
- [5] K. B. Moller, T. Jorgensen y G. Torres-Vega, J. Chem. Phys. 106, 7228 (1997)
- [6] D. Campos, J. D. Urbina y C. Viviescas, J. Phys. A: Math. Gen. 33, 6129-6158 (2000)
- [7] A. L. Xavier Jr. y Marcus A. M. de Aguiar, Ann. Phys. 252, 458 (1996)
- [8] R. Glauber, Phys. Rev. 131, 2766 (1963)
- [9] W. Zhang, D. H. Feng y R. Gilmore, Rev. Mod. Phys. 62, 867 (1990)

# KANT, FREGE, HILBERT AND THE SOURCES OF GEOMETRICAL KNOWLEDGE

by

Mario Laserna<sup>1</sup>

## Resumen

Laserna, M.: Kant, Frege, Hilbert and the sources of geometrical knowledge. Rev. Acad. Colomb. Cienc. **24**(93): 535-547, 2000. ISSN 0370-3908.

1.- La Revolución Científica del siglo XVII se fundamenta en la posibilidad de anticipar, a través de modelos matemáticos, las estructuras del mundo espacio temporal. De ahí surge la noción de ciencia experimental cuya finalidad está en determinar cuales de las posibles estructuras teóricas corresponden a los hechos espacio-temporales del mundo en que vivimos.

2.- Producida la Revolución Científica y destronado el psicologismo inherente al realismo aristotélico, la pregunta es: ¿Cómo son las estructuras de la mente que permiten la creación y desarrollo de la actividad científica lograda por la física matemática-experimental, y en particular, cual es la creación geométrica de la mente que sirve de base a la física moderna?

Ese es el problema sobre las fuentes del conocimiento geométrico que se plantea Kant, problema que es retomado por G. Frege, y posteriormente por David Hilbert.

3.- Todo ello lleva a una nueva concepción de la Ciencia, vista como una creación de la mente humana, para sistematizar su experiencia del mundo espacio-temporal habitado por *Homo sapiens*.

**Palabras clave:** Kant, Frege, Geometría mental, Hilbert, Historia.

## Abstract

1.- The scientific revolution of the 18<sup>th</sup> century was based in capability of predicting, using mathematical models, the structure of the spacio-temporal world. From there, arose the notion of experimental science whose goals are determine wich of the theoretical architectures correspond to spatio-temporal facts.

2.- Producing the scientific revolution and destroying the psychologism inherent in the realism of Arostrotle is the question "What are the mental structures that permit the creation and development

---

1. Or a relation between objects?

of the scientific model achieved by mathematico-experimental physics? This is the problem concerning the sources of geometric knowledge proposed by Kant and later by Frege and still later by David Hilbert.

3.- These lead to a new concept of science seen as creativity of the human mind in order to systematize our experience in the spatio-temporal world inhabited by *Homo sapiens*.

**Key words:** Kant, Frege, Mental Geometry, Hilbert, History.

### I-Kant: between Frege and Hilbert?

Towards the end of his life Frege's search for a firm foundation for geometrical knowledge led him to conceptions akin to the kantian ones. This fact is the more remarkable in that kantian thought in this respect had fallen into complete disrepute in Frege's own days. The question, therefore, immediately arises whether there is more than a merely verbal approximation between kantian and fregean conceptions as to the meaning and validity of geometrical truths. Such a question may be readily answered not only by comparing what both these thinkers actually affirmed, but also, and most cogently, by comparing their assertions with the hilbertian attempts to base geometry on purely formal considerations, i.e., without raising the question as to the meaning of the geometrical entities nor as to the truth or falsify of the ensuing statements. In the course of our explorations into fregean and kantian theory so as to discover the sources of geometrical knowledge, it will become clear that the problem of non purely verbal coincidences must be stated at two different levels: a) Are they talking about the same problem: *do they agree on what it is that we mean by "straight line", "point", "plane", "intersection" and the other terms out of which geometrical statements are built?* b) Do they agree on the principles on which an answer to the questions posed by a) are to be given; in other words, do they share the criteria in terms of which the validity of an answer may be attained? Let us examine these two questions in detail.

Right from the beginning it may be argued that Kant and Frege agree in relation to a) on one basic issue: both accept that the problem of geometrical truth must be referred to an euclidean frame of reference. All serious kantian scholars know that Kant's attempt to explain the validity of euclidean truths is based on a traditional interpretation of Euclid. Kant did not re-interpret Euclid. He considered euclidean utterances as the data, the hard facts which demanded an explanation. Consequently, he invented a theory of the nature of geometrical propositions which should account as well for their a priori as for their synthetic character. Such characteristic notes of geometrical

utterances mean *that they are not purely formal*, i.e., empty utterances, and second, that although they hold true of physical objects, they cannot be contradicted by empirical facts. These assertions are in flat contradiction to the hilbertian conception which would retort: In as much as geometrical truths are absolutely certain, they cannot apply to experience; i.e., are void of empirical reference. Conversely, if they possess empirical content they cannot be absolutely certain (a certainty which, according to Kant issues from their a priori character), in the einsteinian formulation of the problem. (See Appendix A).

Now, with regard to Frege it is also clear that this "loyalty" to Euclid is a *sine qua non* requirement of the whole discussion. Only in terms of an euclidean conception of what an axiom is, can the problem be stated. If, in a hilbertian fashion, one is talking about objects and relations alien to the "euclidean "meanings" (whatever that may mean), one is solving the wrong problem. Which is precisely what Frege accuses Hilbert of doing: "When one looks at the words of one of his axioms (Hilbert's) it seems off hand that we are facing an axiom in the euclidean sense; but the simple words mislead, because every word is used differently than by Euclid". It is clear, consequently, that an euclidean universe of discourse constitutes the common ground on which Kant and Frege analyze the sources of geometrical knowledge, in sharp contrast to the formalism of the so-called "implicit definition" method of Hilbert. At this point we would like to make it clear, for reasons which should become apparent subsequently, that *the euclidean universe of discourse essential to the kantian analysis does not, in any way, restrict the validity of the kantian explanations to so called euclidean geometry. Kant's theory covers both euclidean and non-euclidean propositions*. In this respect he differs from Frege whose concept of why a geometrical axiom is valid is not only obscure, but narrow; in contrast to the impressive power and generality of the kantian notion of "concepts by construction".

We turn our attention now to the second question, namely, do Kant and Frege agree as to the criteria under



which a valid solution to the nature of geometrical truth may be given? In contrast to the first point raised, there exists no clear answer to this question. Nonetheless, it can be argued that certain fregean lines of thought point in the direction along which kantian thought, with its thoroughgoing analysis, found what is to be regarded as a highly coherent and satisfactory solution. However, the kantian answer is only attainable in a gradual way which demands, among other things, that one attains clarity with respect to certain fundamental concepts.

## II-What is Space?

*Strangely enough there is one basic kantian concept, the absence of which in Frege and Hilbert accounts for the fact that kantian thought agrees with Frege in some aspects –namely, the euclidean universe of discourse– and with Hilbert in others –namely, the free construction of geometrical concepts by the mind– in such a fashion that Kant may be considered the fortunate and coherent synthesis of two incomplete but complementary systems. The kantian notion looming behind the fregean and hilbertian fragments is that of space. For Kant space is not a concept abstracted from experience in the way “dog” or “golden mountain” are. Space is an entity that partakes of our sensorial nature in as much as all experience of objects presuppose space: “We represent to ourselves objects as out-side-us, and all without exception in space... space is not an empirical concept which has been derived from outer experiences. For in order that certain sensations be referred to something outside me (That is, to something in another region of space from that in which I find myself)... the notion of space must be presupposed”. B 37 -38.*

*It is clear, therefore, that space is intimately related to my experience of objects. If it were not for space, there would, in fact, exist no possibility of experiencing ordinary physical objects. In fact, Kant argues: “The notion of space, cannot, therefore, be obtained as an experience from the relations of outer appearance. On the contrary, such outer experience is itself possible only through the presence of such a notion. B 38 In consequence, space is a necessary notion prior to the experience of objects but intimately related to them since “we can never conceive to ourselves that space doesn’t exist although one may well imagine that there be objects present in it”. B 38*

What must be retained from this kantian analysis of the nature of space is two fold: Firstly, I have the notion of space as something given prior to the experience of any concrete object; secondly, the nature of space is not intellectual. I do not “think” space. I rather “perceive” it

in as much as it is the possibility *not of my thinking* but of my *perceiving* physical objects. It is, consequently, a notion closely related to physical objects not being itself a physical object. In kantian terms, it is a notion *of the possibility* of physical objects.

Which are the physical properties of objects most directly connected to space? Do there exist physical properties of objects which may be pre-figured, anticipated in space even when the physical object itself is not given? Certainly yes, answers Kant, and I believe no one will disagree with him: of all qualities of objects, *those only pertaining to form or shape can be anticipated*: “The shape of a cone we can form for ourselves in intuition; unassisted by any experience,... but the colour of this cone must be previously given in some experience or other”. I: 743

It is this peculiarity of anticipating in space the geometrical properties expressed in form or shape what essentially *ties space to geometry*. Quite naturally, since *space is the possibility of physical objects* we may conclude that the science of space, namely, geometry, *is the science of the possibility of physical objects*. In other words, each time I anticipate a shape or form say a hexagon, I am anticipating a certain physical entity, namely, such a one as has this hexagonal shape. Geometry is consequently applicable to physical reality because it deals with a constitutive quality of all and each physical object, namely, to have shape or form. Why colour cannot be constructed a priori, is another question which does not impinge on the fact *that shape is a-priori*.

We conclude therefore, that geometry refers to the spatial qualities of objects and can therefore be developed independently from the factual, i.e., empirical existence of objects in as much as space is something given to our mind as a notion in which we can imagine, determine, and construct all sorts of shapes and forms<sup>2</sup>. We must keep clearly in mind, however, that space is a sensorial notion, something we “perceive” as creating the possibility of experiencing concrete physical objects.

It is not therefore a purely logical, formal notion as Hilbert claimed it to be. But neither is it physical reality. It is an intermediating entity existing prior to physical experience and making that experience possible.

Let us examine, now, how geometrical entities and the relations existing between them have spatial existence, attain truth in this specifically kantian sense. Spatial

2. And relations?

existence, i.e., shape, being independent or anticipatory of physical existence, has two prerequisites: *mind can create spatial objects at will provided it establishes the rule, operational definition, figurative schema, or principle of its creation in a way which is free from inherent or inner contradictions which hinder its construction*. Nothing, however, prevents me from constructing two figures "side by side" which are externally contradictory, say, a circle and a square. What I certainly am not free to construct is, say, a square-circle, for the simple reason that there is no guiding-principle or schema of its construction. Clearly, once an object is constructed it is "true" i.e., *exists as a spatial entity, no matter what the empirical physical world contains*. Constructivity implies possible experimentation, i.e., testability, empirical import.

Corresponding to my capacity of creative imagination we have, consequently, a whole array of spatial objects together with the schema, principle or operational rule of its construction. I have, therefore, as Kant says, constructed objects and their corresponding concept which, quite naturally, is also my own construction. A la Hilbert? That is the question! Yes, as far as my freedom of construction, but definitely not in as much as these constructed spatial concepts possess by their very origin a spatial interpretation namely, the constructed object! It is for this reason that they are concepts à la Frege or à la Euclid, i.e., they can claim to be apodictically true since they may never be contradicted by experience. Hilbert constructivism has no *built-in concrete interpretation because Hilbert, (and for that matter everyone else) never understood the kantian notion of space*. Geometrical truths are, consequently, those which can be exhibited, exemplified in a spatial construction, say, two points determine a straight line; or three points not on a straight line determine a triangle. This consideration leads us, indeed is identical to the second kantian condition imposed on concepts by construction, to wit: *Only those constructed concepts which are potentially exemplifiable in empirical experience are geometrically legitimate*. And conversely: Any physical object may be considered as to its shape or form as an example, a case, of a construable spatial form or shape. This second condition necessarily follows from the relation of space to physical objects as the condition of their possibility, i.e., *that without space no physical objects may be apprehended as existent*.

We may now pose the question: Once a spatial concept has been constructed, how do we know if a physical object falls under it, is subsumed, is an example of it? The obvious answer is: Through an experiment. The only way

I can know if the table on which I am writing is square, round or ellipsoidal is by controlled observation. In other words, by asking nature, (in this case the spatial objects in my room) if the object on which I am writing falls under a certain concept the spatial definition or schema of which I am in full possession of. Such controlled observation, i.e., one based on a prior question, is what we term Experiment. It yields us knowledge through the fact that it answers a question:

### Is my table round or square?

*An experiment, therefore, is a method for establishing whether a given physical object falls under an operationally constructed concept! This is pure Kantian orthodoxy!*

"Through the determination of pure intuition we can acquire a priori knowledge of objects, as in mathematics, but only in regard to their form as appearances; whether there can be things which must be intuited in this form, is still left undecided. Mathematical concepts are not, therefore, by themselves knowledge, except on the supposition that there are things which allow of being presented to us only in accordance with the form of that pure sensible intuition. Now things in space and time are given only in so far as they are perceptions (that is, representations accompanied by sensation) - therefore only through empirical representation". B 147

### III-Sensorial transcendental idealism

We wish to emphasize the logical significance of the experimental method as a means of establishing whether a given space-time event (an object, a system of relations between objects) falls under a concept given prior to the experiment. It is not difficult to see that such a procedure constitutes the essence of the so called experimental method as employed by experimental physicists. It is not necessary, however, to restrict it to mathematical physics in spite of the fact that it is in this area of space-time events that it has acquired renown and admiration due to the mastery over nature it has given on man. *What is essential to the experimental method is the fact that it answers a question posed by the experimenter*. The peculiarity and importance of physics originates in the fact that it enables us to state questions which cannot be formulated in any other language! Obviously *this language is that proper to mathematics, as Galileo affirmed, or that of quantity, as Kant says*. But for the latter what is essential to mathematics is that it can construct its concepts *prior to any empirical apprehension of them*. It

follows that whatever type of construction of concepts which is intuitive and which can anticipate space-time event is to be considered mathematics. This Kant says quite explicitly and it is worthwhile quoting him: "Those who propose distinguish philosophy from mathematics by saying that the former has as its object QUALITY only and the latter QUALITY only, have mistaken the effect for the cause. The form of mathematical knowledge is the cause why it is limited exclusively to quantities. For it is the concept of quantities only that allows of being constructed" B742.

A few lines previously Kant had told us: "PHILOSOPHICAL Knowledge is the knowledge gained by reason from concepts; mathematical knowledge is the knowledge gained by reason from the construction of concepts". B741 Clearly, a concept like dog or green is philosophical since it is derived from experience and not constructed. It is readily seen that I am able to carry on an experiment if I say: "Is there a green dog in the kitchen?" and then proceed to inspect that space-time object called "my kitchen". Since I know what I am looking for, (a green dog) I am able to experience whether a certain object exists which falls under the concept "green dog in the kitchen". There is clearly no difficulty here since the concept I utilize for my experiment is derived from experience. In other words, it is a posteriori. *According to Kant the really important concepts for mastering nature do not originate in experience, i.e., do not acquire their meaning from ordinary sensorial experience in the way that I require a prior empirical input in order to think the concept.*

Concepts by construction exhibit the rare peculiarity that although they do not originate in experience nonetheless they apply to experience. Indeed, to such an extent that the whole of experimental physics depends on them! At this point does it not arouse the curiosity of the reader that all notions essential to developing modern experimental physics were formulated with such precision and insight by Kant, some hundred and twenty years before professional philosophers of science, not to mention the physicists themselves, even started wondering about them? If there exists a man ahead of his time in matters pertaining to philosophy of science and scientific method it certainly was the secluded and punctilious old Prussian of Scottish descent!

The question which has now become central is: What are concepts by construction? How is it that although given prior to experience (otherwise we could not construct them) they apply to experience? For it is clear that *they cannot be, like hilbertian constructions, void of sensorial meaning, consequently totally disconnected*

*from experience.* How can a concept be totally a priori, indeed my own invention, and still be related to a reality which I do not invent? Which is given objectively, as something real? Such is the great question to which Kant must supply an answer if he is not to be considered as the confused old gentleman most philosophers of science consider him to be. Clearly nothing can be so meaningless, or even downright erroneous and preposterous as to provide an answer to a problem which "has not been dreamt of" in the philosophy of those who are to be your judges.

And on to the kantian problem of concepts by construction! "To construct a concept means to exhibit a priori the intuition which corresponds to the concept", *It is now vital to understand the most misunderstood of all kantian key terms, namely, "intuition".* Most people take "intuition" to mean some mysterious non-rational fashion of reaching a truth, a conclusion about something. Mothers have intuitions as to why their babies don't want to eat; police inspectors as to who is the true murderer and mathematicians as to which proposition is true, before you have carried on the demonstration. *None of this has anything to do with Kant's intuition.*

In his use of the term, which corresponds to the latin one, *intuition is the direct apprehension of an individual object or event. It is the immediate way of experiencing something THROUGH sense affectation.* For the human mind, intuition has an essential sensorial nature. Its most frequent, albeit natural way, is through empirical sensation, say seeing or touching, smelling an apple. Here are some examples of Kant's use of "intuition": "...in being affected by objects, it (the subject) obtains *immediate representation*, that is intuition of them..." B41 "...intuition takes place only in so far as the object is given to us..." B33 or also "since no representation, save when it is an intuition, is in immediate relation to an object..." B93. It happens also, and this is of the greatest importance, that *the human mind can only have such immediate representations (we would also say "immediate experience") of objects through sensorial data.* In other words, to *intuit an object is to have an immediate sensorial affectation by it.* This Kant repeats abundantly and little doubt should be left in the reader as to the essentially sensorial nature of an intuition. "*Our mode of intuition is dependent on the existence of the object...*" B72 It is therefore not a grasping of truth or knowledge in the void but in something very concrete, and, moreover, something apprehended not by any mysterious parapsychological faculty, but by something common to all men: our sensorial faculties. *...Our kind of intuition does not extend to all things, but only to objects of our senses.*" B342; and also: "without sensibility we cannot have any

intuition..." B92 We must conclude, therefore, that "*intuitive evidence*" or "*intuitively acquired meaning*" *pertains to evidence or meaning acquired through sense apprehension*, an essentially sound, interpersonal and repeatable procedure, as good a guarantee of solid knowledge as any we can think of. Such a position implies:

"Now, as the Aesthetic has shown, the only intuition possible to us is sensible; consequently, the thought of an object in general, by means of a pure concept of understanding, can become knowledge for us only in so far as the concept is related to objects of the senses. Sensible intuition is either pure intuition (space and time) or empirical intuition of that which is immediately represented, through sensation, as actual in space and time". B 146-147

*And now Kant draws a conclusion that should rejoice the most radical operationalist or logical positivist: "We cannot, therefore, positively extend the sphere of the objects of our thought beyond the conditions of our sensibility"* B343 Such thinking would be meaningless, void of any content.

And now comes the remarkable kantian discovery: *Although all intuition for human minds is sensorial, not all intuition is empirical! What at first sight appears as a contradiction is, in reality, the key to the whole kantian doctrine of concepts by construction.* We can have, thanks to space and time, non-empirical sensorial intuitions! *In other words, we are able to have sensorial meaning and evidence without the customary perceptive experience!* Such is what Kant calls a pure intuition; or an a priori intuition; withstanding its pure or a priori character it remains sensorially conditioned. *It is NON-INTELLECTUAL. And to have grasped this fact (essentially belonging to the euclidean universe of discourse) is considered by Kant one of his major intellectual achievements.* The doctrine itself is clearly stated in numerous occasions in the Critique of Pure Reason, for example in B 150: "But since there lies in us a certain form of a priori sensible intuition...; and in B151: "This synthesis of the manifold of sensible intuition, which is possible and necessary a priori, may be entitled *figurative synthesis*..." It turns out that this figurative synthesis is nothing less than the capacity of constructing objects in space. It actually involves an act of imagination whereby "Imagination is the faculty of representing in intuition (i.e., in a sensorially operational meaningful way) an object that is not itself present, (not present physically, but schematically anticipated, naturally)".

And the thought continues: "Now since all our intuition is sensible, the imagination, owing to the subjective condition under which alone intuit gives to the concepts of understanding a corresponding intuition, belongs to sensibility". B 151

We shall presently expound is what implied by this relation between concepts of understanding "and the corresponding intuition" which must necessarily be sensible, although not tied with actual perception. For the moment we wish to quote Kant in one of the rare moments in which he indulges in self praise. Quite naturally, in a matter that had escaped the inquisitive eye of all previous thinkers although the problem, the universal validity of geometrical propositions, was considered beyond dispute.

Idealism proper always has a visionary purpose, and can have no other, but my idealism is solely for conceiving the possibility of our knowledge a priori of the objects of experience, which is a problem that has not hitherto been solved, or even raised. There by falls the whole visionary idealism, which always (as can heady be seen from Plato) inferred from our knowledge a priori (even that of geometry) another intuition than that of the senses (namely intellectual intuition), because it never occurred to anyone that the senses should intuit a priori.

*It is clear, by now, that Kant's so called transcendental idealism should be called "transcendental sensorial idealism" blocking thereby all the misconceptions and misinterpretations that have arisen out of the term "intuition", interpreted in a non-kantian fashion!*

As far as modern philosophical vocabulary goes, one could well say "schematic construction with empirical reference", instead of "pure intuition" or "intuition a priori"; a fairly simple change of vocabulary which dissipates a lot of terminological darkness and exhibits the kantian doctrine in all its modernity and lucidity.

#### **IV-Space as a neutral substratum**

Keeping in mind that space is also an intuition, i.e., something immediately given to our sensorial faculties, not in experience but as the condition of all possible experience of physical objects, we are in a position to clearly understand the meaning of: "*To construct a concept means to exhibit a priori the intuition which corresponds to the concept. For the construction of a concept, we therefore need a non-empirical intuition. The latter must, as intuition, be a single object.*" B741

If we paraphrase in modern vocabulary we have: "*To construct a concept means to provide the operational*

*definition which fits any object which may fall under the concept. The operational definition must offer the possibility of identifying individual objects as falling under the concept.*" In other words, in carrying out an experiment we always know how an object, eventually given, must behave if it is to fall under the concept. *It is such a construction of objects in pure intuition, as anticipations of empirical intuition which guarantee the truth of geometrical axioms. Once the a priori object is constructed, no empirical object can refute its validity simply because any experiment can only show if a given empirical case falls under a concept or not.* It can never show that the a priori constructed concept is spatially non-existent since *the spatial construction constitutes its very existence.* We shall consider this in more detail in the next section when discussing Frege's position vis à vis the parallel axiom. For the present we wish to establish that according to Kant, space is not tied up with any kind of geometry, euclidean or non-euclidean. Space is undetermined as far as the objects that may be constructed in it.

#### **Here is Kant's statement:**

"Space is something so homogeneous and in respect of all particular properties so indeterminate that there is certainly no hoard of natural laws to be found in it. On the other hand, that which determines space for understanding, is that it contains the ground of the unity of the construction of these figures. The mere universal form of intuition that is called space is indeed the substratum of all intuitions which can be correlated to particular objects, and admittedly there lies in space the condition of the possibility and variety of intuitions. But the unity of objects is determined solely by the understanding, and according to conditions which lie in the nature of the understanding" Prolegomena 38.

*Space is neutral. It is neither euclidean nor non-euclidean since both classes of objects are construable a priori. Otherwise one could not be carrying out experiments to find out whether certain PHYSICAL intuitions are euclidean or not. This truth is however, very difficult to grasp by persons who do not distinguish between space and physical reality; or between physical reality and its possibility, namely, space.*

The well established fact of modern theoretical systematisation, namely, that wider theories exhibit their validity by deductively including narrower ones, (relativity theory in relation to newtonian mechanics) fits very well under the kantian scheme of concepts by construction. One can consider the facts of our newtonian

universe as one highly complex space - time event and the numerous experiments which verify newtonian mechanics as a huge one single additive experiment which shows how the newtonian fact falls under the einstenian constructed concept. Quite obviously the personal psychological purposes and motivations of the experimenters – whether to perform just a fragment of the all-embracing newtonian-einstenian experiment, is totally irrelevant. That the one all-embracing experiment took one hour or one century to be performed in no way affects the basic conceptual pattern.

#### **V- The Frege - Hilbert Debate.**

It will be our task now to show how Hilbert, in his attempts to obtain a secure foundation for geometry also, without ever realizing it, arrived at certain concepts which are central to the kantian theory of geometrical propositions. The reader quite naturally intuits that we are referring to the by now familiar concepts by construction. *The fact that neither Frege nor Hilbert ever attained the kantian conception of space prevented their developing of a coherent conception of euclidean geometry as a series of propositions which possess both an a priori and a synthetic nature.* We have made it clear that space as a general substratum open to any concept which can be operationally defined in it allows both euclidean and non-euclidean concepts.

*A geometrical axiom does not refer to any concrete physical object. What it does is to establish the conditions a physical object must satisfy to fall or be subsumed under it.* It is consequently clear that any set of axioms which is non-contradictory defines a geometrical spatial system. Whether our real existent objects satisfy one or the other system is a matter for physical experimentation. Such is the kantian doctrine of geometry and I believe no one can quarrel with it.

Frege made the mistake, in his rather vehement dispute with Hilbert, to place the truth of geometrical axioms in an impossible, ill-defined category. He insistently asserted that axioms are meaningful statements and that, in the euclidean sense, they are absolute truths. *However, not having at his disposal the kantian notion of space, he maintained that if an axiom is true, then what denies it must be false.* Consequently, if the parallel axiom is true, then the riemanian alternative must be false. *Such an argument would be valid if the truth of the fifth euclidean postulate were based on relations existing between physical objects AND, moreover, the riemanian alternative were referred to the SAME physical objects.*

But we know that this is not, and as far as Euclid is concerned, never was, the euclidean sense of truth in regard to geometrical propositions, since *concepts by construction determine the concrete real objects which make them true in physics a posteriori*, i.e., by means of an experiment that reveals that the HERE AND NOW, concrete objects satisfy the axioms. This was seen partially by Frege. In the articles of 1906 "On the Foundations of Geometry" published in the Annual Report of the Union of German Mathematicians he polemizes with Korselt, a full fledged hilbertian, and says: "I demand from a definition of a point, that according to it one can decide whether a given object, say my pocket watch, is a point. Korselt misunderstands me as saying the question should be decidable purely from the definition without any assistance from perception, and affirms that this is not possible. Completely right! Whether a given stone is a diamond cannot be decided only by the definition of the word "diamond". But one can demand from the explanation given, that it decide the question objectively in such a way that anyone who has knowledge of the stone in question can decide whether it is a diamond". If to this fregean position one were to add the notion of concepts by construction as inherent to our notion of space, Frege would have solved the puzzle of how euclidean axioms are true. Clearly "diamond" or any non-constructed concept can never lead to an adequate answer because of their origin in empirical, non-a priori reality. Kant argues:

"The a priori method gives us a rational and mathematical knowledge through the construction of the concept; the a posteriori method our merely empirical (mechanical) knowledge which is incapable of yielding necessary and apodictic propositions. Thus I might analyse my empirical concept of gold without gaining anything more than merely an enumeration of everything that I actually think in using the word, thus improving the logical character of my knowledge but not in any way adding to it. But I take the material body, familiarly known by this name, and obtain perceptions by means of it; and these perceptions yield various propositions which are synthetical but empirical. When the concept is mathematical as in the concept of a triangle, I am in a position to construct the concept, that is, to give it a priori in intuition, and in this way to obtain knowledge which is at once synthetic and rational" B749.

The applicability of mathematics to nature is based on such constructibility of its concepts: "Through the determinations of pure intuition we can acquire a priori knowledge of objects, as in mathematics but only in regard to their form, as appearances; whether there can be things

which must be intuited in this form, is still left undecided. Mathematical concepts are not, therefore, by themselves knowledge, except on the supposition that there are things which allow of being presented to us only in accordance with the form of that pure sensible intuition". B 147. Which constructed concepts correspond to actual physical objects, located, as corresponds to their very nature, in space, we determine by means of an experiment.

It is now interesting to see how if, under the kantian guidance, one starts with euclidean concepts by construction, one can end up caught in the logical meshes of an Hilbertian system. *It suffices to "ascend" one degree in the activity of concept construction. We thus abandon spatially defined schemas and arrive at pure logical forms.* (In other words, the propositions of the system become more abstract; Nevertheless, they maintain their structural or formal type). The procedure is the same one used by Kant in the process of constructing a concept on the basis of a pure intuition, i.e., of apprehending a concrete object: "...the method of geometrical construction, by means of which I combine in a pure intuition (just as I do in empirical intuition) the manifold which belongs to the schema of a triangle in general and therefore to its concept" B746.

The step-by-step method may be stated thus: Given certain physical objects we focus on their quality "shape". In a second stage, as in the case of the ancient Greeks, "a new light flashes upon the mind" since we find that we can consider any particular shape in separation from the object it adheres to. We arrive thus at different shapes, say circular, rectangular and so on. It is with the next step that geometry is born since: "The true method, so he found (Thales or some other) was not to inspect what he discerned either in the figure, or in the bare concept of it". B XII.

The human mind has now reached spatial constructions, the properties of which are expressed (it could not be otherwise) in synthetic a priori judgements. It is now clear that a further step can be taken: Since these synthetic a priori judgements possess a logical structure, it is possible to consider such a logical structure in isolation from the spatially constructed concepts. In order to obtain this, it suffices to "drop" the spatially meaningful concepts. This can be done either by leaving blank spaces, in the place they occupy, thereby transforming say, "two points determine a line" into "two... a...". Or by simply ignoring what the words "point" and "line" mean, this second procedure being the one employed by Hilbert and so vehemently criticized by Frege. The result is in both cases what we shall call an axiom form, which in turn

becomes an axiom once we fill in or substitute appropriate geometrical terms or entities in the blank spaces. The characteristics of an axiom form are:

- a) *They are not propositions either of the a priori type like those of geometry, or of the empirical type of physics.*
- b) *They may become propositions either of geometry or of physics according to what one substitutes in the blank spaces.*

The question now is whether the substitution of geometrical entities is equivalent to the substitution of physical objects, since in both cases we obtain statements capable of being either true or false. Clearly, it is the nature of this truth or falsity which differs accordingly if we fill in geometrical, i.e., concepts by construction, or physical objects. In the first case we can only obtain true statements and never a false one because of the very nature of the operation we are performing, namely, constructing a concept. In the second, since in reality we are carrying on an experiment which presupposes the concept under which certain concrete objects may be subsumed or not, the ensuing statement may be either true or false.

The reason for this essential logical difference in the nature of the two statements originates in the fact that physical objects are something given whereas constructed concepts. Have the properties I ascribe to them. And the act of filling in or substituting the blank spaces with geometrical terms is precisely intuiting, indeed, in a pure fashion, the spatial object out of which ensues the concept and the judgement. In order for such a filled-in axiom-form to yield a false statement, it would be necessary that the entities utilized to fill in the blank spaces should possess previously given characteristics, a condition which, as we have shown, contradicts their very nature of being concepts by construction.

In this respect Hilbert was totally justified in saying that the very fact of their construction guaranteed the truth of his axioms. *The error originated in not being able to define how those filled-in objects were constructed. He, Hilbert, attributed to the blank spaces a purely logical frame of reference which permitted that one fill in any kind of objects.* Which is what Frege did with sarcastic and undisguised delight when he argued: "When one finds that these axioms, (the hilbertian ones) do not express a proposition that, (according to, Korselt), should not worry us. Such linguistic expressions do not pretend to be descriptions of known facts. They only open the possibility of them. And truly with great subtlety: for

example, that every sausage has two ends, or that any child may swing at least two small flags. Such (the formal axiom void of meaning) is evidently a description of a fashion in which objects of experience –the flags– can be associated with one another. The domain of applicability of this axiom is exactly as extended as objects of experience may be substituted in it".

*Notwithstanding Frege's sharp analysis of the Hilbert attempts we reach the conclusion that his evaluation of the Hilbert method is incorrect. What Hilbert attempts is, in kantian terms, to attain concepts by construction. But since he lacks the concept of space as an a priori sensible intuition, he, Hilbert, finds no way of rendering his terms spatially and thereby experimentally meaningful. Hence, any physical object, including those lacking operational spatial significance, say sausages, pocket-watches or children waving at least two small flags in a patriotic parade, may be filled in. A substitution which as such is not absurd. It becomes so, only when the axiom forms are considered as originally intended to describe spatial phenomena.*

## **VI-The non-inductive character of experimental physics.**

Once the role played in experimental physics by concepts by construction is grasped the error of considering physics as an inductive science is easily seen. *Inductive procedures are only possible when objects are identified by means of a substance-attribute method.* It is then possible to ask: Are all lions yellow? Observation may exhibit, say, a blue lion. However, if the concept lion were constructed a priori, all its characteristics would be fully included in it since, as Kant says: "*mathematics is the only science that has definitions. For the object which it thinks it exhibits a priori in intuition, and this object certainly cannot count either more or less than the concept, since it is through the definition that the concept of the object is given, and given originally, that is, without its being necessary to derive the definition from any other source*". B757-758.

Clearly, therefore, there is not possibility of inductive confirmation or falsifiability. However, if I select a class of objects which fall, or so I believe, under a certain constructed concept, say, the chemical element carbon, C12, it may well occur that some concrete objects, i.e., samples, are not experimentally subsumed under C12. What do I infer? That my concept C12 is mistaken? What could that mean? *What modern chemistry concludes is certainly not that my concept of C12 is false, but that I*

*made an error of judgement in believing the given samples would fall under C12. However great progress is made if I construct the new concept C14 and discover that my "rebellious" samples fall under it.*

*It is clear now that the falsifying experiment is an invitation to construct new concepts under which a rebellious portion of reality can be subsumed. Therefore it becomes most interesting to invent all sorts of concepts so as to bring as much space-time reality under them as possible. That is precisely the task of mathematical physics and its experimental branch. It is non-inductive; it is a single experiment science and it is open to new discoveries of the type constructed - concept and corresponding experiment, but it is certainly non-inductive. Sciences like zoology or astronomy, which deal with empirical concepts, i.e., such in which there exists or permits an essence-accident classification, are indeed inductive.*

### Conclusions

We have seen that Kant's theory of space leaves open the possibility that different geometrical systems, euclidean and non-euclidean, may be considered as true spatially, *in as much as each of them can be experimentally tested*. If certain physical objects  $M_i$  satisfy the axioms  $E$ , there is no reason why another group of objects  $M_j$  cannot satisfy the set of axioms  $R$  which would mean that  $E$  and  $R$  are not only spatially, but also empirically true. However, this does not even remotely mean that  $E$  and  $R$  are, taken together, non-contradictory. *In this regard Frege is wrong because he takes the meaning of each axiom to be independent of the meaning of the others, whereas in Hilbert thought it is the whole system taken in its totality which gives meaning to the parts or elements*. This is essential to concepts by construction. *Moreover, in the kantian case, once the axioms are constructed, i.e., shown to be consistent (otherwise we could not construct them), the objects necessarily exist; not as a result of their logical consistency but, here is the kantian "touch", because of their constructibility in that pure intuition we call space*. Clearly such guarant that the object  $Ezts$  does not apply to the example Hilbert gives in the next sentences of his letter, since arithmetical entities are not constructed freely: "The proposition 'each equation has a root' is true, or the existence of the root is proven as soon as the axiom 'each equation has a root' may be added to the other axioms of arithmetic without ever it being the case that a contradiction may arise".

Within the kantian theory Frege and Hilbert are both right and wrong. The reason being that the kantian point

of view is more embracing and permits, even more, demands a redefinition of key concepts like *axiom, model, object, consistency, truth, etc.* It seems to me, thereby, proven that the higher point of view which Hilbert sought in order to consider the different geometries as subordinate to a more general point of view which would permit an analysis of the basic logical problems of geometry (truth, independence, consistency, etc.) is provided by Kant's theory of space and of concepts by construction. An accomplishment which he is to fulfill the dream of the young man who at twenty three years of age" reflected on" a science of all possible types of space which would be the highest geometry that a finite mind could conceive".

The quotations from Kant's Critique of Pure Reason are taken from the standard german text *KdV* published by Verlag von Felix Meiner in Hambur; the English translations are done by the author of the present Essay, An customary in Kantian literature, a numeral

Followed by a capital B corresponds to the page of the Second edition of the *-KdV* given in Meiner.

### Bibliography

- Aristóteles (1) *Lehre von Satz*. Ph. B.  
 Aristóteles (2) *Kategorien*. Ph. B.  
 Ayer, A. J. (1) *Language, Truth & Logic* 2nd ed., London 1946.  
 Bergmann, Hugo (1) *Das Philosophische Werk Bernard Bolzanos*, Halle 1909.  
 Bense, Max (1) *Transzendente und mathematische Logik in ZPF*, B JV 1949.  
 Blanché, Robert (1) *La Science Physique et la Réalité*, Paris 1948.  
 Blanché, Robert (2) *La Axiomatique*, Paris 1959.  
 Bridgmann, P. W. (1) *Logic of Modern Physics*, N. Y. 1927.  
 Bochenski, I. M. (1) *Formale Logik*, Freiburg/München, 1956.  
 Bochenski, I. M. (2) *Probleme der gegenwärtigen Logik in DUZ*, 13 J II.  
 Bolzano, Bernard (1) *Wissenschaftslehre*, B. I, Leipzig 1929.  
 Burkamp, Wilhelm (1) *Begriffe und Beziehung*, Leipzig 1927.  
 Burt, E. A. (1) *Metaphysical Foundations of Modern Science*, London 1925.  
 Carnap, Rudolph (1) *Der logische Aufbau der Welt*, Berlin 1928.  
 Carnap, Rudolph (2) *Foundations of Logic and Mathematics E I 3*.  
 Carnap, Rudolph (3) *Meaning and Necessity*, Chicago 1947.  
 Carnap, Rudolph (4) *Introduction to Symbolic Logic and its Applications*, N. Y. 1958.  
 Carnap, Rudolph (5) *The Foundations of Logic and Mathematics. E I 3*.



- Campbell, N. R.** (1) *Physics, The Elements*, Cambridge 1920.
- Cassirer, Ernst** (1) *Substanzbegriff und Funktionsbegriff*, Berlin 1923, 2. Aufl.
- Cassirer, Ernst** (2) *Philosophie der symbolischen Formen*, III B., Berlin 1923.
- Cassirer, Ernst** (3) *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neuen Zeit*, Stuttgart, 1957.
- Cassirer, Ernst** (4) *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*, Darmstadt, 1957.
- Cohen, Morris & Nagel, Ernst** (1) *Introduction to Logic and Scientific Method.*, N. Y. 1941.
- Couturat, Louis** (1) *Algebre de la Logique*, Paris 1905.
- Courant, R. & Robbins, L.** (1) *What is Mathematics* N. Y. 1949.
- Church, Alonzo** (1) in DP. Aufsätze: "Formal Logic", und "Logistic System"
- Church, Alonzo** (2) in EBR. Aufsatz "Logic".
- Euler, Leonard**, Briefe an eine Deutsche Prinzessin, Leipzig 1773.
- Frank, Philipp** (1) *Foundations of Physics* EI. 7.
- Feigl, Herbert & Sellars, Wilfried** (1) *Readings in Philosophical Analysis*, Appleton Century N. Y. 1949.
- Frege, Gottlob** (1) *Grundgesetze der Arithmetik*, 2. Bde. Darmstadt, 1962.
- Frege, Gottlob** (2) *Die Grundlage der Arithmetik*, Darmstadt, 1961.
- Frege, Gottlob** (3) *Funktion und Begriff*, Vortrag, Jena 1891.
- Frege, Gottlob** (4) *Über Begriff und Gegenstand* in VPS, 16 Bd. 1892.
- Frege, Gottlob** (5) *Kritische Beleuchtung einiger Punkte in E. Schröds Vorlesungen über die Algebra der Logik* in ASP Bd. I. 1895.
- Frege, Gottlob** (6) *Über Sinn u. Bedeutung* in ZPPK, Bd. 100 (1892).
- Frege, Gottlob** (7) *Unbekannte Briefe Freges and D. Hilbert*, Hrg. M Streck, in *Sitzungsberichten der Heidelberger Akademie der Wissenschaften*, Jahrgang 1941, 2. Abh. Math.-Nat. Kl. 1941.
- Gadamer, Hans G.** (1) *Wahrheit und Methode*, Tübingen 1960.
- Günther, Gotthard** (1) *Idee und Grundriss einer nicht-Aristotelischen Logik*, Hamburg 1959.
- Hempel, Carl G.** (1) *Foundations of Concept. Formation in Empiric Science*. EI. 7.
- Hilbert, D.** (1) *Die Grundlagen der Geometrie* 4. Aufl. Leipzig 191.
- Hilbert, D.** (3) *Neubegründung der Mathematik* in Abh. HU, Heft 2.
- Hilbert, D.** (4) *Über das Unendliche* in MA. Bd. 95.
- Hilbert, D.** (5) *Die Grundlagen der Mathematik* in Abh. HU, B VI.
- Hübner, Kurz**. *Dialektischer Materialismus und Humanismus*, Be 1962.
- Husserl, E.** (1) *Logische Untersuchungen*, 2 Bde, 2. Aufl. Halle u. f.
- Husserl, E.** (2) *Erfahrung und Urteil*, 2. Aufl., Hamburg 1954.
- Husserl, E.** (3) *Formale und Transzendente Logik* in JPF, B.
- Kant, Immanuel** (1) *Kritik der reinen Vernunft*, Ph. B.
- Kant, Immanuel** (2) *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik*, Ph. B.
- Kant, Immanuel** (3) *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. Ph. B.
- Kneale, William** (1) *The Development of Logic*, Oxford 1962
- Kneale, William C.** (2) *Is existence a Predicate* in FS.
- Körner, Stephan** (1) *Conceptual Thinking, a Logical Inquiry*, N. Y. 1955.
- Kemeny, J. G.** *Semantics as a Branch of Logic* in E. B.
- Ladrière, Jean** (1) *Les Limitations des Formalismes in Dialectica*, Vol. 14 No. 4.
- Landgrebe, Ludwig** (1) *Vom geisteswissenschaftlichen Verstehen* in ZPF VI.
- Lipps, Hans** (1) *Bemerkungen zu der Paradoxie des Lügners* in KS B. 28.
- Lipps, Hans** (2) *Die Paradoxien der Mengenlehre* in JPF BVI 1923.
- Lorenzen, Paul** (1) *Formale Logik*, Berlin 1962.
- Lorenzen, Paul** (3) *Metamathematik*, Mannheim 1962.
- Lukaziewicz, Jan** *Aristoteles' Syllogistic*, Oxford 1957.
- Martin, Gottfried** (1) *Leibniz*, Köln 1960.
- Metzger, Wolfgang** (1) *Die Lehre von der Gestalt*, in Duz, Jahrgang 13, NR 5.
- Mill, John Stuart** (1) *Autobiography*.
- Nagel, Ernst** (1) S. Cohen, Morris.
- Nagel, Ernst** (2) *Logic without Ontology*, in FS.
- Natorp, Paul** (1) *Die Logischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, Leipzig-Berlin 1910.
- Petzoldt, Joseph** (1) *Beseitigung der mengentheoretischen Paradoxa durch logisch einwandfreie Definition des Mengenbegriffs*, in KS B 30.
- Pfänder, Alexander** (1) *Logik*, Halle 1929.
- Popper, Karl** (1) *Logik der Forschung*, Wien 1937.
- Portmann, Adolf** (1) *Die Philosophie im XX. Jahrhundert*. 1959, Stuttgart.
- Prantl, Carl** (1) *Geschichte der Logik im Abendlande*, Graz, 1955.
- Prior, A. N.** (1) *Formale Logik*, Oxford 1962.
- Quine, W. D.** (1) *Methods of Logic*, N. Y. 1950.
- Quine, W. D.** (2) *Truth by Convention*, in FS.
- Quine, W. D.** (3) *Designation & Existence*, in FS.
- Quine, W. D.** (4) *From a Logical Point of View*, Cambridge USA, 1953.
- Raggio, Andrés** (1) *Consideraciones sobre la concepción Kantiana de la Lógica Formal*, in *Revista del Instituto de Filosofía* (Córdoba, Arg.) N. 1, 1957.

- Reichenbach, Hans** (1) Experience and Prediction, Chicago 1947.
- Rickert, Heinrich** (1) Kant als Philosoph der modernen Kultur, Tübingen 1924.
- Robinson, R.** (1) Definition, Oxford 1950.
- Rothacker, Erich** (1) Logik und Systematik der Geisteswissenschaften, München-Berlin 1927.
- Russel, Bertrand** (1) (and Whitehead, A. N.) Principia Mathematica, Vol. I, 2 Ed. Cambridge 1950.
- Russel, Bertrand** (2) Introduction to Mathematical Philosophy, London 1919.
- Russel, Bertrand** (3) An inquiry into Meaning and Truth, London 1940.
- Russel, Bertrand** (4) The Analysis of Matter, N. Y. 1954.
- Scholz, Heinrich** (1) Das Vermächtnis der Kantischen Lehre vom Raum und von der Zeit, KS, B 29.
- Sellar, Wilfried** - Siehe Feigl, Herbert.
- Stebbing, L. Susan** (1) A Modern Introduction to Logic, London 1961.
- Stegmüller, Wolfgang** (1) Metaphysik, Widdenschaft, Skepsis, Frankfurt/Wien, 1954.
- Stenzel, Julius** (1) Philosophie der Sprache, München/Berlin 1934.
- Tarski, A.** (1) Einführung in die mathematische Logik, Wien 1937.
- Tarski, A.** (2) The Semantic Conception of Truth, Fs.
- Tarski, A.** (3) Logic Semantics, Metamathematics, Oxford 1956.
- Tarski, A.** (4) Grundlagen und Aufgaben der modernen Semantik. DUZ, 13. Jahr. NR 3.
- Urmson, J. O.** (1) Philosophical Analysis, Oxford 1958.

## APPENDIX A

## Carta de A. Einstein a M. Laserna (Septiembre, 1953).

“The institute for advanced study Princeton, New Jersey

September 22, 1953

Dr. Mario Laserna  
Universidad de Los Andes  
Calle 18-A Carrera 1-E  
Apartado Aéreo 1976  
Bogotá, Colombia

Dear Dr. Laserna:

I gather from your dialogue that a considerable difference of opinion exists between us with regard to this problem. Because I am *not* of the opinion that there exists an essential difference between concepts and methods in the fields of “common sense” and science.

Every linguistic utterance is wholly confined to the conceptual sphere. Concepts, as far as they have any basis, are –judged logically– free inventions of the mind (together with propositions connecting them). But those concepts and propositions receive

their value and justification exclusively through their only intuitively given connection with perceptions (Erlebnissen). There is no logical way to deduce concepts and propositions from our crude experiences (“induction”). This is equally true for concepts like “red”, “tree”, as for concepts like “distance”, atom”, etc. The difference lies in the fact that scientific concepts and propositions are mostly brought into connection with sense-perceptions in a more indirect and complicated way. Also the use of numbers doesnot involve a difference in essence between scientific and common sense methods.

Apart from these differences of opinion I must confess that I do not want to appear in this field as a responsible partner. I have not studied epistemology thouroughly enough and I am not sufficiently aquainted with the tremendously extented literature in that field. It is enough if you mention that we had several discussions about these questions.

With kind regards,  
Albert Einstein”

## APPENDIX B

## Carta de A. Einstein a M. Laserna (Enero, 1955)

January 8, 1955

“Dr. Mario Laserna  
Universidad de Los Andes  
Bogotá, Colombia

Dear Dr. Laserna,

Thank you for letter of December 14th.

I still believe that one cannot distinguish, in principle, between primary and secondary qualities. It is basic for all physics that one assumes a real world existing independently from any act of perception. But this we do not *know*. We take it only as a programme in our scientific endeavours. This programme is, of course, pre-scientific and our ordinary language in already based on it.

The concepto body-object and shape are not given to us directly by our sense-impressions but are a result of a mental construct.

That this is not so easy to see is only produced by the fact that those steps made by every one of us in early childhood seem to us logically necessary. But this is not so.

With Kind regards,  
sincerely yours,  
Albert Einstein”

The quotations from Kant’s Critique of Pure Reason are taken from the standard german text KdrV published by Verlag von Felix Meiner in Hambur; the English translations are done by the author of the present Essay, An customary in Kantian literature, a numeral

Followed by a capital B corresponds to the page of the Second edition of the -KdrV given in Meiner.<sup>1</sup> Carrera 3ª No. 9-52, Bogotá D.C. Colombia, Fax (057 1) 2848921.

1. i.e. are operationally meaningful.

# HISTORIA DEL DESARROLLO Y LA RECEPCIÓN DE LAS IDEAS PANBIOGEOGRÁFICAS DE LÉON CROIZAT

por

Jorge Llorente<sup>1,2</sup>, Juan J. Morrone<sup>1</sup>, Alfredo Bueno<sup>3</sup>, Roger Pérez-Hernández<sup>4</sup>,  
Ángel Viloría<sup>5</sup> & David Espinosa<sup>6</sup>

*El experimentador de los Espacios tiene que impugnar "geológicamente"  
ese proceder: muestra que el pretendido espaciotiempo vacío está poblado  
por unos habitantes.... e inventa una escritura capaz de nombrarlos.*

*Sobre los espacios: pintar, escribir, pensar. J. L. Pardo, 1991*

## Resumen

Llorente, J., J. Morrone, A. Bueno, R. Pérez, A. Viloría, & D. Espinosa: Historia del desarrollo y la recepción de las ideas panbiogeográficas de Léon Croizat. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 24(93): 549-577, 2000. ISSN 0370-3908.

El botánico italo-americano Léon Croizat (1894-1982) desarrolló el método panbiogeográfico al ponderar básicamente sus metáforas "vida y tierra evolucionan juntas", "dispersión = translación en espacio + diferenciación morfológica" y "la dispersión se repite por siempre". Este método esencialmente consiste en marcar las distribuciones de organismos en mapas y conectar las localidades de colección o áreas de distribución disyuntas mediante líneas llamadas trazos. Los trazos individuales de grupos de organismos no relacionados son repetitivos, y las líneas resultantes de su coincidencia son trazos generalizados que indican la preexistencia de biotas ancestrales, subsiguientemente fragmentadas por cambios tectónicos y/o climáticos. A pesar de que los autores pertenecientes al 'establishment' dispersionista descalificaron las contribuciones de Croizat, otros consideraron que Croizat

1 Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM, Apdo. postal 70-399, 04510 México D.F., México.

2 Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

3 Museo de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Av. Guelatao 66, Col. Ejército de Oriente, 09320 México D.F., México.

4 Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Apdo. 47058, Caracas 1041-A, Venezuela.

5 Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Apdo. 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.

6 Herbario, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, Av. Guelatao 66, Col. Ejército de Oriente, 09230 México D.F., México.

adelantó la fundación de una nueva síntesis en biología comparada. Aquí llevamos a cabo un análisis geográfico del cambio científico, en que se presenta y compara la recepción de las ideas de Croizat en los Estados Unidos, Nueva Zelanda y América Latina, además de comentar brevemente la divergencia en cuanto a sus ideas originales.

**Palabras clave:** Biogeografía, trazos, nodos, historia de la biogeografía, Venezuela, Nueva Zelanda, México, Argentina.

### Abstract

The Italo-American botanist Léon Croizat (1894-1982) developed the methodology of panbiogeography, based on his metaphors "life and Earth evolve together", "dispersal = translation in space + form-making", and "dispersal forever repeats". The panbiogeographic method is basically to plot distributions of organisms on maps and connect the disjunct distribution areas or collection localities together with lines called tracks. Individual tracks for unrelated groups of organisms are repetitive, and the resulting summary lines are generalized tracks that indicate the preexistence of ancestral biotas, subsequently fragmented by tectonic and/or climatic changes. Although authors belonging to the dispersalist establishment dismissed Croizat's contributions, others considered that Croizat advanced the foundations of a new synthesis in comparative biology. We attempt herein a geographical analysis of scientific change, where the reception of Croizat's ideas in the United States, New Zealand, and Latin America is presented and compared, and divergence concerning his original ideas is briefly commented.

**Key words:** Biogeography, tracks, nodes, history of biogeography, Venezuela, New Zealand, Mexico, Argentina.

Léon Croizat fue una de las figuras más controvertidas en la historia de la biología comparada del siglo XX. Originalmente se formó como botánico experto en el Jardín Botánico de Nueva York. Estudiante de la evolución y de la distribución de lo vivo, se convirtió en crítico del darwinismo. No sólo se apartó de la explicación permanentista a la distribución geográfica de los seres vivos, sino del propio mecanismo de evolución darwinista, que asigna a la selección natural un papel preponderante como agente del cambio orgánico. Las ideas de Croizat resultaron atractivas para algunos biólogos, debido a que sugieren la posibilidad de una nueva síntesis evolutiva, más amplia e integral, que conjuga los conceptos de espacio, tiempo y forma. A través de sus propuestas biogeográficas (Croizat, 1952, 1958, 1964, 1976), y más aún luego de su amalgamamiento con la sistemática filogenética de Willi Hennig (Nelson & Platnick, 1981), Croizat contribuyó de manera significativa a una visión nueva de la biología comparada. Pese a que en principio sus ideas fueron rechazadas por los integrantes del 'establishment' neodarwinista y dispersionista, varios autores de diversas áreas del mundo comenzaron a aplicarlas a partir de las últimas décadas del siglo XX.

Nuestro objetivo es contribuir a la historia de la panbiogeografía, mediante un análisis geográfico del cambio científico, comparable a los de Dupuis (1979) y Craw

(1992) para la recepción temprana de la sistemática filogenética hennigiana. Primero esbozaremos algunos aspectos biográficos de Croizat, luego presentaremos brevemente sus ideas sobre evolución y biogeografía, y finalmente nos referiremos a la recepción de sus ideas en algunas partes del mundo, comentando las divergencias posteriores en relación con la formulación original de este autor.

### Síntesis biográfica de Léon Croizat

El punto geométrico es invisible. De modo que hemos de definirlo como un ente abstracto..., el punto significa interrupción, no-existencia (componente negativo) y al mismo tiempo es un puente entre una unidad y otra (componente positivo)... exteriormente, el punto es simplemente el elemento práctico, utilitario... Debajo de lo práctico o lo "funcional" quedamos muertos sin vida..., la nueva ciencia... sólo podrá surgir cuando los signos se vuelvan símbolos... el punto muerto se convierte en un ser viviente... El punto es el resultado del choque del instrumento con la superficie material... Al tener lugar el choque la base queda fecundada...

*Punto y línea sobre el plano. Wassily Kandinsky, 1923*

Algunos aspectos de la vida de Léon Croizat han sido comentados por Croizat (1982), Craw (1982, 1984a,b), Zunino (1992), V. J. Croizat (1997), Morrone (2000) y Díaz & Gómez (2000). A continuación presentaremos una síntesis.



**Figura 1.** Profesor León Croizat en 1951, acompañado de algunos indígenas durante una caminata de recolección en el Amazonas venezolano. La foto fue publicada por Joseph Grelier (1954) quien fuera el jefe del grupo expedicionario francés en la Exploración a las nacientes del Río Orinoco.

Léon Croizat (Fig. 1) nació en Turín (Italia) el 16 de julio de 1894 y murió en Coro (Venezuela) el 30 de noviembre de 1982. Su familia originalmente era de Bresse, Francia. Su padre, Víctor Croizat, nació en Chambéry, y su madre Marie Chaley fue natural de Lyon (Croizat *in* Texera, 1998: 680). Su padre fue un industrial adinerado que se dedicó a la explotación petrolera en Italia y Rumania, y se destacó como pionero en las industrias eléctrica y automotriz. Cuando Léon tenía seis años, sus padres se separaron, y para el año de la muerte de su padre (1915) la familia estaba en bancarota.

Desde muy joven, Croizat se aficionó a la naturaleza. Con frecuencia era invitado a la casa del Conde Peracca, un herpetólogo aficionado de Turín, donde pasaba horas en su invernadero, entre iguanas gigantes y tortugas de Galápagos. Allí Croizat comenzó a interesarse por la taxonomía y la teoría evolucionista de Darwin. Sin embargo, su padre se oponía a que se dedicara a las ciencias naturales, a las que consideraba un mero pasatiempo, y prefería que siguiera la carrera de ingeniería. **Craw & Heads** (1988) destacaron la relevancia de esta 'conexión turinesa', que podría implicar el reconocer a Daniele Rosa -autor de la teoría de la hologénesis- como uno de los precursores intelectuales de Croizat. No obstante, de acuerdo con **Luzzatto et al.** (2000), esto es erróneo, ya que en realidad Croizat descubrió la obra de Rosa recién en 1963, cuando Colosi le envió una copia de la *Ologenesis* (Croizat, 1978: 60).

Entre 1914 y 1918, Croizat sirvió en el ejército italiano, donde llegó a ser Capitán de Infantería. Tuvo dos hi-

jos: Víctor, nacido en Trípoli (Libia) en 1919, y Georgette, nacida en Turín en 1921. Al finalizar la Primera Guerra Mundial, obtuvo un doctorado en jurisprudencia en la Universidad de Turín (1919) y comenzó a trabajar con un amigo en un molino textil, pero el ascenso del fascismo lo obligó a emigrar a los Estados Unidos de Norteamérica. En 1924 arribó a Nueva York, mientras que su esposa y sus hijos permanecieron por un tiempo en Ceyzerieu (Francia), para viajar más tarde a reunirse con él. Durante sus primeros años en América, Croizat pasó por algunas penurias económicas, ganándose la vida mediante diversas ocupaciones; más tarde comenzó a pintar acuarelas y después de participar en varias exhibiciones de arte llegó a obtener cierto éxito. Hacia fines de la década del 20, gozaba de solvencia económica, pero cuando el mercado para obras de arte decayó, debido principalmente a la caída bursátil de 1929, Croizat y su familia decidieron regresar a Europa, para probar mejor suerte en París. Allí encontraron que la situación era aún peor, sobre todo porque unos años antes Croizat se había nacionalizado estadounidense y no conseguía permiso de trabajo, por lo que decidieron regresar a Nueva York.

Esta vez, Croizat consiguió trabajo identificando plantas para un inventario topográfico que se estaba llevando a cabo en los parques de Nueva York. Mientras realizaba esta tarea, visitaba con frecuencia el Jardín Botánico del Bronx, donde conoció a su director, el Dr. E. D. Merrill. Éste habría de ser fundamental para su futuro, ya que cuando asumió la dirección del Arnold Arboretum de la Universidad de Harvard, en 1937, contrató a Croizat como asistente técnico. Allí tuvo a su disposición un importante jardín botánico, un enorme herbario y una riquísima biblioteca especializada. En esta última pasaba horas, leyendo y traduciendo innumerables trabajos, ya que como parte de su formación intelectual, Croizat era políglota: el francés y el italiano eran sus lenguas maternas y además leía, hablaba y escribía fluidamente en latín, español, portugués, inglés, alemán y ruso; también leía el griego con ayuda del diccionario.

Mientras desempeñaba sus tareas en Harvard, Croizat comenzó a publicar trabajos botánicos, sobre todo referidos a la sistemática de plantas cactáceas y euforbiáceas. En una ocasión envió un manuscrito para ser publicado en la revista del Arboretum, en el cual criticaba un trabajo del influyente botánico inglés T. A. Sprague, de los Jardines Botánicos de Kew. Esta revista, rechazó el manuscrito debido a que consideraba inadecuada la crítica a Sprague. Sin embargo, el trabajo fue publicado eventualmente en otro medio. Este hecho, sumado al carácter peculiar de Croizat, fueron razones para que progresivamente se crea-



Figura 2. Algunos de los cuadernos de notas acumulados por Croizat en Harvard, hoy conservados en su residencia, Coro, Venezuela. Fotografía J. J. Morrone.

7 Novembre, 1945

Cher M. Pittier,

Mille fois merci de votre lettre du 5 oct. qui vient de m'arriver. Tous est réglé pour le mieux et je vous suis excessivement reconnaissant de l'intérêt spécial dont vous me faites preuve. Vos amis sont certainement aussi satisfaits.

Je partirais volontier dans un mois s'il n'était de deux raisons que je vous laisse à juger. Ma fille aura un enfant (son premier) dans le courant du mois de décembre prochain, et tout a été arrangé avec un docteur de Boston depuis longtemps. Elle est actuellement chez nous, et elle ne nous quittera pas avant la première semaine de janvier 1947.

Pour ce qui me concerne de plus près - pour ainsi dire - j'ai des engagements avec un éditeur auquel je dois livrer le manuscrit d'un manuel de phytogéographie générale avant le mois de mars 1947. Il s'agit d'un travail sur des bases entièrement nouvelles, c'est-à-dire qui ne contient pas de la théorie mais des faits. On y analyse en détail les courants d'immigration qui se viennent, par exemple, au Royaume tout aussi bien qu'à Bornéo. Ce travail qui n'a coûté pas moins de dix ans d'efforts soutenus est presque achevé, et sera mis aux mains de l'éditeur à la fin de Janvier 1947.

Les deux raisons que je viens de vous dire m'empêcheraient de quitter New York avant la première semaine du mois de Février 1947, soit dans deux mois et demi au plus long.

Pour ce qui est de ma vie, le voici. Née à Turin (Piémont) de parents de pure origine française (mon père était de Chambéry, au nord de Lyon, et toute sa famille est originaire de la Bresse) j'y fis mes études, en sortant diplômé d'université en 1919. Je parle donc Français et Italien comme mes langues-mères. Ayant fait de solides études classiques, je mane le Latin sans aucune difficulté, ce qui me veut de faire les descriptions pour de nombreux amis ici. J'ajouterais que dans des buts professionnels j'appris le Russe (que je lis fort couramment) et l'Allemand. Naturellement, je parle et écris Anglais. Je comprends parfaitement l'Espagnol, que je lis comme le Français, et que je parle tout juste pour les besoins courants à l'heure actuelle. Le Portugais ne me fait aucune difficulté. Au point de vues langues, je puis donc rendre d'assez bons services.

La tournure des affaires européennes à partir de 1919 me conseilla de quitter le vieux monde alors qu'il en était encore temps. Je vins aux Etats Unis en 1924 et plusieurs années s'écoulerent dans le courant desquelles je travaillais au service des parcs de New York, en me perfectionnant, entre-temps en Anglais. M. le Dr. Merrill me fit entrer à l'Arnold Arboretum à Harvard en 1937. J'y fus assistant de M. le Prof. Rehder à partir de 1939, lors de mon retour d'une mission au Muséum de Paris pour le compte de l'Université.

(T) le 18 Juillet 1944.

Pour ce qui est de voyager c'est  
 pour un moment, mais pour  
 pas plus tard.

Proférent des moyens vraiment hors lignes qui ne furent pas sous le main par les bibliothèques et les herbiers de Harvard je ne suis occupé pendant ces dix ans de botanique générale au sens le plus complet du mot. Je connais assez bien la littérature professionnelle classique et courante et tous les points de vue. Je suis à jour de toute question de morphologie, et de classification, nomenclature, etc. Je suis donc tout à fait disposé de faire quoique ce soit à vos services. Je ne prétend aucunement de me mêler des travaux qui ne me regarderaient pas, mais je puis vous dire d'autre part que je tiens en mes mains environ 350 carnets de notes les plus diverses, sur véritable vade-mecum de questions botaniques avec toutes sortes de rappels, croquis etc. Quand on a le bonheur d'avoir sous la main une bibliothèque comme celle de l'Arnold Arboretum on serait fou de ne pas en profiter. Soyez très certain que j'en ai profité, et profité dans toute la mesure de mes moyens.

Mon intérêt aux Euphorbiacées est connu bien qu'il ne représente qu'une moindre partie de mes agitations ici. Evidemment, je serai heureux de me dédier à l'étude votre flore de tout genre que vous jugerez convenable d'indiquer. La nature m'intéresse dans tous ses aspects.

Vous pourrez également des références à son sujet en vous adressant à M. le Prof. Alfred Rehder et à M. le Dr. Merrill à l'Arnold Arboretum, et à M. E. P. Killip au Smithsonian Institute à Washington.

Veuillez me dire s'il est autre chose que vous désiriez de savoir, ou des références supplémentaires qui vous seraient nécessaires. J'ai assez de connaissances dans le camp botanique, M. A. Dugand de Bogota, par exemple, étant un nombre de mes bons amis.

Je ne vous demande pas quelle sera la durée de mes services chez vous, car ce serait un peu courir que de s'occuper de ces questions à l'heure qu'il est. Je puis néanmoins vous assurer que, Latin de bonne souche, je verrais sans déplaisir l'occasion de mettre à profit en Amérique Latine ce que j'ai pu apprendre au pays ou le dollar tout puissant à se concentrer des moyens inouïs. Il se pourrait, comme toute, qu'il y ait beaucoup trop de certains côtés, et que la manie qui sert de me s'occuper que de quelque "specialty" finisse par nuire par rapport à des vues plus profondes. J'ai observé et pendant de longues années, et vous devinez sans peine ce que j'ai pu conclure.

Agrées, cher M. Pittier, mes plus sincères salutations,

*Leon Croizat*

Leon Croizat  
 Arnold Arboretum  
 Harvard University  
 Jamaica Plain 50 Mass.  
 U.S.A. - J'ai aussi un fils, Victor, diplômé de la Syracuse University, Faculty of Forestry, qui fait actuellement sa carrière dans l'armée; il y est major des U.S.A. Marines, ayant fait le guerre de Guadalcanal à Iwo-Jima, et stationne actuellement à Honolulu.

Figura 3. Facsimil de la carta de presentación que envió Léon Croizat al Dr. Henri Pittier en Venezuela (cortesía Y. Texera, archivos del Instituto Botánico de Caracas).

Croizat, puesto que este último había realizado determinaciones taxonómicas de las euforbiáceas que el sabio suizo había enviado a los Estados Unidos, desde el incipiente herbario nacional de Venezuela. Así, el 5 de octubre de 1946 le informó que, en vista de su posición como jefe del Servicio Botánico y el apoyo de amigos en el gobierno, podría ofrecerle un trabajo temporal. De tal suerte que Croizat presentó su currículum a Pittier en una carta fechada el 7 de noviembre de 1946, en donde se deja ver que la decisión de trasladarse a Venezuela era algo inminente.

En marzo de 1947, Croizat llegó a Venezuela y el día 15 comenzó a trabajar en el Servicio Botánico del Ministerio de Agricultura y Crfa, cuya sede estaba en Caracas. En un informe de Pittier de 1948 (Texera, 1991) dijo lo siguiente de Croizat: "*botánico versado en taxonomía, especializado en el estudio de las euforbiáceas, cactáceas, lentiburlariáceas, droseráceas y sarraceniáceas. Además de sus funciones como botánico de este departamento, está encargado oficialmente de la parte botánica en el Proyecto de Reforestación de Tacagua*". Una transcripción completa del referido documento (Texera, 1998) descubre que León Croizat habría venido a este país por corto tiempo, pero en vista del entusiasmo despertado por la naturaleza venezolana decidió quedarse un lapso adicional. Ese lapso sería nada menos que los 34 años que le restaban de vida.

En Caracas también atendió suplencias como docente en botánica en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela pero, en 1950, luego de rescindir su contrato con el Servicio Botánico, se trasladó al occidente del país (Mérida), donde fue admitido como profesor ordinario de botánica y ecología en la Escuela de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes. Hizo allí un estudio de la faja xerófila andina (Croizat, 1954), en donde se dejó ver su creciente inclinación a la comparación fitogeográfica de estos enclaves biológicos, y que luego traería a discusión con motivo de una visita a las zonas áridas andinas de Chile (Croizat, 1961). La Junta Militar de Gobierno lo designó, en 1951, el botánico oficial de la Expedición Franco-Venezolana que alcanzó por primera vez y exploró las fuentes del río Orinoco. Este período resultó decisivo en el rumbo que tomaría su vida en el futuro próximo. Esta expedición debiera considerarse de manera especial entre las misiones científicas hacia áreas inexploradas de Suramérica durante el siglo XX, ya que a pesar de sus considerables logros para la ciencia, fueron pocos los incidentes gloriosos, medidos frente a la hazaña de aquel heterogéneo contingente humano comprometido bajo una coordinación militar, de sobrevivir a

una seguidilla incomparable de expectativas, penurias, agotamiento, hambre, enfermedades, humillaciones y, finalmente, decepciones y desconciertos. Por lo menos cinco versiones originales y de primera mano (Contramaestre, Ríquez-Iribarren, Grelier, Gheerbrant, Anduze y Lichy) ofrecen un panorama elocuente (a veces contradictorio) sobre las extremas incomodidades físicas y psicológicas en las que se desarrolló esa empresa. Uno de los testimonios más impresionantes de la participación de León Croizat en esta aventura lo consignó el insigne entomólogo venezolano Pablo Anduze (1960: 48-49):

"Sigue León Croizat, botánico y erudito científico. Pese a su edad trabajó con un ahinco y una fortaleza ejemplares, hasta el momento de la crisis de la última evacuación. Muchas cosas influyeron en el ánimo de Croizat. Luchaba mentalmente contra el tiempo, pues tenía una imperiosa necesidad de regresar a Estados Unidos de Norte América en día determinado. Luego principió a sufrir atroces y desesperantes dolores de muelas y más tarde, en el Ugueto, sufrió una gastroenteritis que minó definitivamente su salud, cuando menos por la duración de la expedición. Por propia voluntad fue evacuado desde el primer campamento después del Ugueto. Hay detalles que no se olvidan. Ninguno de nosotros tomó notas con tanto afán como Croizat. De su pluma hubiese salido una historia de la Expedición del Orinoco que sería documental, porque Croizat tiene un estilo clarísimo y minucioso, pero parece que una parte de sus notas de viajes se perdió.

Cada conversación con Croizat era una clase de botánica, una discusión sobre ecología o una disertación sobre historia. Al llegar al campamento de la base del Raudal Dickey y habiendo caminado por una vertiente extremadamente abrupta del sitio, Croizat se dio cuenta de que no podía seguir adelante con los "40 kilos" con los que decía el Mayor Ríquez que iniciaría las marchas. Manifestó claramente su deseo de ser evacuado, tanto porque se daba cuenta de que sus capacidades físicas disminuían, como por el temor de convertirse en rémora para los demás compañeros. El Mayor aprovechó la oportunidad para depurar el equipo, basado en los exámenes del médico, que ya habían sido efectuados en la confluencia del Ugueto. El regreso de Croizat a la civilización fue una odisea. Muchas veces he pensado en lo que ha debido ser esa bajada. No había uno solo del grupo, salvo los peones, a quienes nada importaba, que llevara la mente tranquila: uno desesperado por salir de lo que consideraba un infierno, otro con urgente necesidad de regresar; Lichy decepcionado por no haber podido seguir el viaje y Boutron [sic] anonadado porque no lo dejaron proseguir. Ni siquiera tenían seguridad en sí mismos, porque el grupo de hombres que formaba el equipo de evacuación, salvo Joaquín Conde, no era el mejor que pudo haberse escogido y los escollos naturales entre el sitio de evacuación y el Raudal Waika, que no hacía tanto tiempo habían sobremontado con la ayuda de todo el contingente, eran los peores encontrados en todo el viaje."



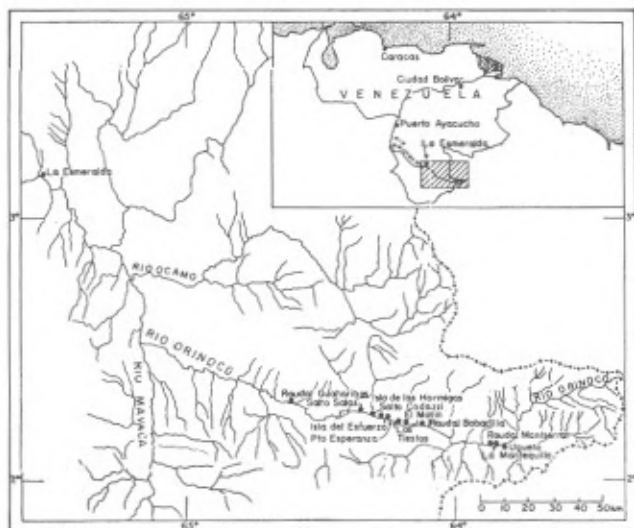


Figura 4. Mapa de la región del río Orinoco, donde se muestran las localidades donde León Croizat efectuó colecciones botánicas durante la expedición de 1951 (reproducido de Holst y Todzia, 1990).

Hace algunos años se divulgaron las identificaciones taxonómicas de más de mil plantas coleccionadas por León Croizat en esta aparatosa expedición, al igual que un registro detallado y un mapa de las localidades y estaciones de colección (Fig. 4, ver Holst y Todzia, 1990).

El 27 de noviembre de 1951 un minúsculo grupo de expedicionarios alcanzaba un punto donde por convención se ha dicho que nace el río Orinoco, mientras que el agotado personal últimamente evacuado (Croizat incluido) todavía luchaba en su camino de regreso. En diciembre Croizat estaba de regreso en Caracas, y al siguiente año fue condecorado por su misión (junto con el resto de los participantes) con la Orden del Libertador en el grado de Caballero. Por esas fechas se divorció de su primera esposa y más tarde se casó con la inmigrante húngara Catalina Krishaber (Fig. 5), una arquitecta paisajista y horticultora (también políglota), a quien conoció en esa ciudad y con cuyo apoyo económico pudo dedicar los siguientes 30 años a trabajar y publicar profusamente. Vivieron hasta 1975 en una pequeña casa de la Urbanización Chapellín al noreste de Caracas, donde Catalina se ocupaba de atender un vivero de plantas suculentas llamado 'Cactilandia'. En ese sitio León profundizó sus estudios y redactó la mayor parte de su obra.

A lo largo de su vida, Croizat publicó alrededor de 300 trabajos científicos y siete libros, que reunidos suman más de 15,000 páginas impresas (Nelson, 1973; Heads



Figura 5. Catalina Krishaber de Croizat a los 86 años en su residencia de Coro, con su libro *Manual de horticultura ornamental*. Fotografía A. L. Vilorio.

& Craw, 1984; Llorente & Espinosa, 1991; Morrone, 2000; Díaz & Gómez, 2000), ningún otro científico en Venezuela ha logrado publicar una obra original tan voluminosa. Sus trabajos se refieren a la sistemática de plantas y a biogeografía de diversas áreas, como la región Oriental, África y América. Su primer libro, escrito en 1947, fue el *Manual of phytogeography*, que lo publicó la editorial Junk de la Haya en 1952. Seis años después apareció *Panbiogeography*, gracias al definitivo apoyo económico de un admirador venezolano cuyo nombre se mantiene incógnito. En 1962 publicó *Principia botanica* y, en 1964, *Space, time, form: The biological synthesis*, ambas editadas por él mismo. En 1975 el Ministerio de la Defensa imprimió en Venezuela su *Aníbal y Roma: 218-202 a. d. C. Ensayo histórico y lingüístico con particular referencia al cruce de los Alpes, la batalla de Cannas y la marcha de Aníbal contra Roma*, una obra de notable erudición que aclara un problema histórico de relevancia universal. Al año siguiente, la Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela publicó su *Biogeografía analítica y sintética de las Américas*. Finalmente, en 1981, se compila en un libro una serie de ensayos consecutivos que sobre geografía humana, había escrito este sabio para la revista de opinión *Integración y Progreso* (Caracas), y que lleva por título *El Océano Pacífico en la prehistoria de las Américas*. Esta sería su última obra importante.

En 1970, Croizat y su esposa asumieron como directores del 'Jardín Botánico Xerófito' de Coro, la primera ciudad fundada en Venezuela (1528) y situada topográficamente a 453 kilómetros al oeste de Caracas, jardín que



Figuras 6 y 7. Jardín Botánico Xerófito 'Léon Croizat', Coro, Venezuela. Izquierda: vista de la entrada; derecha: interior. Fotografías J. J. Morrone.

habían establecido en 1970 (Figs. 6 y 7). Croizat falleció de un ataque cardíaco el 30 de noviembre de 1982, a los 88 años de edad. Catalina Croizat murió el 29 de julio de 1997, cuando contaba 89 años. Los restos de ambos reposan en una tumba común, totalmente rústica y sin ningún ornamento, en el cementerio público de Coro (Fig. 8).

### La evolución según Croizat

El tamaño y las formas del punto varían..., el punto puede ser determinado como la más pequeña forma elemental....Es difícil señalar límites exactos para el concepto de "la más pequeña forma".

El punto puede desarrollarse, convertirse en superficie e inadvertidamente llegar a cubrir toda la base o todo el plano..., es la relación de tamaño la que de un modo preciso fija la idea de punto...saber matizar..., o conferir alguna inestabilidad al movimiento positivo (en ciertos casos negativo)..., combatir a la naturaleza mediante la abstracción...., formular conceptos más exactos y efectuar mediciones más rigurosas. En este sentido, la expresión cuantitativa, se volverá inevitable...el esfuerzo para dar un salto más allá, con objeto de establecer nuevos valores, y en último término, fórmulas nuevas. Las fórmulas caducan y deben ser reemplazadas por otras nuevas.

*Punto y línea sobre el plano.* Wassily Kandinsky, 1923

Antes de adentrarnos en el método biogeográfico de Croizat, comentaremos brevemente sus concepciones acerca de la evolución. **Croizat** (1958, 1964) consideraba que para entender el proceso de la evolución orgánica resultaba fundamental desarrollar un concepto de evolución dirigida internamente. **Grehan** (1984) hizo notar que el mismo Darwin trabajó sobre un concepto similar, al cual se refirió como las 'leyes del crecimiento'. **Craw** (1984) sostuvo que aunque Darwin reconoció a la selección natural como el proceso fundamental de la evolución, hay escritos suyos donde se evidencia que reconocía a las 'le-

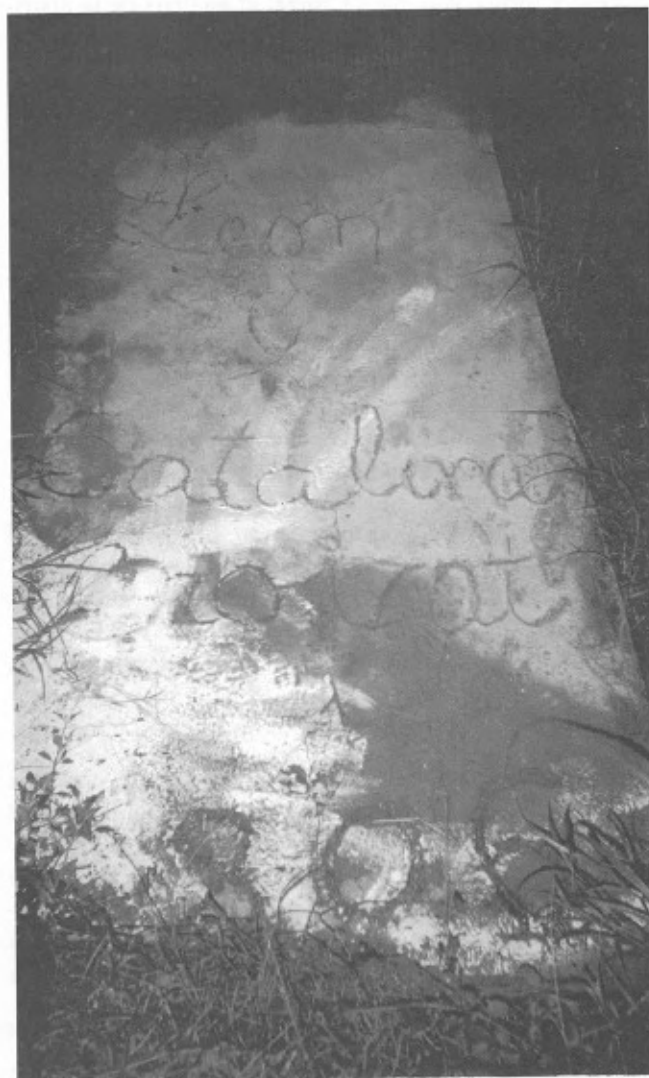


Figura 8. Tumba de Léon y Catalina Croizat, cementerio de Coro, Venezuela. Fotografía Juan J. Morrone.

yes del crecimiento' como un proceso de mayor importancia que la selección natural. **Craw** (1984) mencionó algunos pasajes de la obra de Darwin en los que se resalta que la modificación de rasgos variados ha tenido como causa a las leyes del crecimiento y no a la selección natural. Darwin pensaba que con su concepto de selección natural no había sino apenas delineado un esbozo del complejísimo problema del origen de las especies, y que podía haber otras leyes complejas que aún era necesario investigar.

Mientras que para la síntesis neodarwiniana la evolución es 'descendencia con modificación' y 'cambio en la frecuencia de genes', para Croizat la evolución no queda circunscrita a la forma, sino que es la síntesis de espacio, tiempo y forma. Así, para Croizat el análisis de la distribución orgánica implica entender el proceso de la evolución en el tiempo y en el espacio.

Al igual que diferentes críticos del darwinismo, Croizat también criticó la sobrevaloración de la selección natural y dirigió su interés a la ortogénesis como un proceso evolutivo importante, analizando su relación con respecto a la adaptación. Las ideas ortogenetistas de Croizat pudieran provenir de la influencia de Rosa y su teoría de la hologénesis. Si bien dentro del pensamiento ortodoxo evolucionista se admite que hay tendencias evolutivas ('trends'), éstas a fin de cuentas se atribuyen al efecto de la selección natural. Croizat refutaba esta afirmación, argumentando que existen tipos estructurales de organización a los cuales pertenecen los diversos organismos, independientemente del ambiente en el que vivan y de las adaptaciones que posean. Ello implica que el tipo de organización estructural se hereda, con independencia de las presiones del ambiente. De ahí que la ortogénesis de Croizat se refería a los procesos de determinación no ambiental que se heredan y que 'orientan' a los organismos sin cuenta de las condiciones ambientales, y no al concepto de evolución progresiva y dirigida.

Darwin también reconoció la intervención de procesos no ambientales en la evolución orgánica, referidos en *El origen de las especies* como 'leyes del crecimiento'. Aunque reconoció al proceso vicariante como el responsable de producir un patrón en mosaico de formas que se reemplazan espacialmente, terminó supeditando ese fenómeno a los centros de origen y la dispersión, y la ortogénesis a la selección natural. Aunque se decidió por la selección natural, Darwin sostuvo que aún había mucho por aprender acerca de las 'leyes del crecimiento'. Croizat consideró que Darwin no fue capaz de resolver la tensión entre sus ideas seleccionistas y ortogenetistas, y aunque mostró una con-

cepción pluralista al reconocer la intervención de la vicarianza y la ortogénesis en el proceso evolutivo, falló en ponderar suficientemente su importancia.

Sin embargo, la ortodoxia neodarwiniana vinculó a las corrientes ortogenetistas con ideas finalistas, progresionistas y direccionales, y las condenó como acientíficas, acusándolas de apelar a causas misteriosas sin sustento empírico. No obstante, **Grehan** (1984) argumentó que la ortogénesis, en el sentido de Rosa, Croizat y Darwin, no tiene nada de misterioso ni teleológico, ya que simplemente propone que la forma cambia como consecuencia de un cierto estadio inicial de acuerdo con leyes genéticas y potenciales evolutivos.

Según Croizat, la ortogénesis determina el tipo y amplitud de variación sobre la que puede actuar la selección natural, de modo que ésta se ve reducida tan sólo a jugar un papel secundario, ya que no puede actuar más allá de la variación proporcionada. Ello implica que las adaptaciones deben analizarse primero como estructura, antes que como la función resultante. Así, la adaptación se compone de: (1) una 'adaptación estructural', que es primaria y ortogenética, y (2) de una 'adaptación ambiental', que es secundaria y mediada por la selección natural. Ello evita la confusión conceptual que evidencian términos como 'ventajoso', 'selectivo', 'no adaptativo', 'preadaptativo' y 'neutral', que se enfocan sobre el aspecto funcional. Croizat consideró que era crucial determinar el mecanismo subyacente a la ortogénesis.

Croizat aceptaba que la variación es la materia prima sobre la que actúa la evolución, pero negaba terminantemente que tal variación sea azarosa, sino que por el contrario, está orientada por limitaciones históricas, representadas por los tipos básicos de organización. De este modo, las reglas básicas de la evolución orgánica, a través del tiempo y del espacio, pueden resumirse como sigue:

- (1) La 'selección natural' trabaja con lo que aporta la ortogénesis. Ello implica que la selección natural no es el elemento creativo de la evolución; en el mejor de los casos sólo poda y elimina, pero carece de poder generativo. Se limita a actuar a nivel de especies y subespecies. Con ello, Croizat cuestiona uno de los fundamentos del darwinismo, que es asumir la misma causalidad para la micro y la macroevolución. Las macromutaciones, es decir, las mutaciones orientadas en series, constituyen el elemento fundamental del desarrollo [la duda surge: ¿era Croizat un conocedor de la genética, de los mecanismos de variación genética?; esta afirmación está en el mismo tenor de Rensch, quien en la década de 1940 propuso causalidades diferentes para la micro y la macroevolución, y sobre el

que dirigieron sus críticas los neodarwinistas (gradualistas), principalmente Mayr y Dobzhansky]. Con ello resulta que los elementos internos, como son la herencia y la capacidad de sufrir cambios, son mucho más importantes que los factores externos, como la selección natural y la adaptación. Los factores internos rigen entre el 75 y el 80% del desarrollo. Un colibrí, señala Croizat, es un colibrí, ya sea que habite la costa o los páramos alpinos.

(2) La distribución geográfica actual de un organismo es el resultado de la formación vicariante de grupos taxonómicos que se vieron involucrados en ella y no el subproducto de migraciones a grandes saltos. Toda la biogeografía basada en centros de origen, dispersión, medios de transporte, no es más que pseudociencia.

### Panbiogeografía

Una vez el punto se instala en la superficie, se afirma allí de modo definitivo. De esta forma representa la afirmación interna más permanente y más concisa, que surge con brevedad..., no es la forma sino la tensión existente en ella, lo que la caracteriza y constituye el elemento...El elemento "tiempo" se halla casi totalmente descartado...*El punto es la forma temporal mínima...*

*Punto y línea sobre el plano.* Wassily Kandinsky, 1923

Léon Croizat insistió en que la panbiogeografía es un método de la biogeografía histórica que supone que las barreras geográficas evolucionan junto con las biotas, lo que se resume en la metáfora "vida y tierra evolucionan juntas". Tal como fue formulado por Croizat (1958, 1964), la panbiogeografía se oponía al paradigma imperante en el momento —el Dispersionismo— originado con Darwin (1859), aunque con raíces rastreables a varios mitos judeocristianos antiguos (Papavero *et al.*, 1997; Bueno *et al.*, 1999; Llorente *et al.*, 2000). En dos capítulos de 'El origen de las especies', Darwin discutió cuestiones biogeográficas. Para explicar las distribuciones disyuntas —es decir las que poseen taxones emparentados que se encuentran en dos o más áreas ampliamente separadas entre sí— los autores predarwinianos habían postulado la existencia de 'centros de creación' múltiples, mientras que Darwin (1859) las interpretó como resultado de la evolución o descendencia con modificación. Luego de evolucionar en 'centros de origen' a partir de especies preexistentes, los organismos se dispersaban al azar por sus diferentes medios, atravesando barreras preexistentes, para llegar a ocupar nuevas áreas. A partir de las ideas de Darwin, surgió el paradigma dispersionista, impulsado en el siglo XX por un grupo de autores estadounidenses, entre los que se destacan Matthew, Darlington, Simpson, Mayr y Briggs. La identificación del centro de origen de

un taxón constituye el punto de partida de un análisis dispersionista. Una vez identificado dicho centro, es posible reconstruir la historia biogeográfica del taxón, postulando rutas de dispersión, corredores bióticos, barreras y centros de evolución. Dado que los medios de dispersión de cada taxón son diferentes y la dispersión es un fenómeno que se da al azar, las historias biogeográficas de los distintos taxones no coincidirán entre sí.

Croizat (1958) señaló: "Como naturalistas, nosotros tratamos constantemente con las corrientes de la evolución, y la evolución en sí misma es consecuencia de tres factores que trabajan como uno solo, *tiempo, espacio y forma*. Siendo este el caso, necesitamos desde luego una ciencia que, esencialmente relacionada con el espacio y el tiempo —v. gr., dispersión— rescate de toda crítica los conceptos constructivos de esos dos factores, dejando a cada naturalista en libertad de manejar la *forma* en relación con su campo específico de interés, ya sea taxonomía, filogenia, genética, etc. Sin embargo, *tiempo, espacio y forma*, como un todo, son finalmente una tríada inquebrantable."

En su *Panbiogeography*, Croizat (1958) reconoció que los trabajos botánicos de Good constituyen un primer esfuerzo por asociar los patrones de distribución de las plantas con eventos geológicos. Good utilizó la teoría de Wegener y las teorías sobre glaciaciones e interglaciaciones como argumentos para explicar la distribución de las plantas. Si bien Croizat valoró el intento de Good por tratar de asociar la historia geológica con la historia de las distribuciones de plantas, por otro lado criticó la teoría de Wegener en cuanto a la secuencia de eventos geológicos. En particular, Croizat destacó que la cronología de eventos geológicos sugerida por Wegener resultaba incongruente con los patrones biogeográficos a lo largo del Pacífico. Él reconoció que la teoría wegeneriana sólo explicaba satisfactoriamente los patrones más antiguos, anteriores al Pérmico, pero era incongruente con los patrones posteriores. Sin embargo, Croizat aclaró que desechaba la teoría de Wegener como una hipótesis geológica particular, en un intento por evitar un sesgo a su análisis, ya que prefería arribar a sus propias conclusiones a la luz de la observación de los patrones de distribución de plantas y animales: "Si la biogeografía se ha de ganar el respeto de los geólogos, la biogeografía debe, antes que todo, pararse sobre sus propias piernas, como una ciencia independiente y analítica, evitando rigurosamente aquellas teorías en las que los geólogos mismos no están de acuerdo" (Croizat, 1958).

Resulta interesante ver el modo en que Croizat analizó un problema biogeográfico particular. En el caso de

las Antillas, **Croizat** (1958) utilizó dos familias de aves, *Todidae* y *Momotidae*, estrechamente emparentadas, para ejemplificar su crítica a la biogeografía de Mayr. Las *Todidae* contienen un solo género, *Todus*, con cinco especies de distribución estrictamente antillana, mientras que las *Momotidae* poseen seis géneros, 13 especies y cerca de 50 razas de distribución neotropical estrictamente continental. ¿Cómo se explica la distribución actual de ambas familias a la luz de la idea de centros de origen y dispersión a saltos entre continente e islas? Al respecto, se propusieron tres posibilidades: (1) ambas son de origen continental, pero sólo *Todus* pudo invadir las Antillas con una posterior extinción local en el continente; (2) las *Momotidae* invadieron las Antillas, en donde, debido al prolongado aislamiento, hubo una divergencia tan grande con respecto a las formas ancestrales que derivaron hacia una familia totalmente distinta; y (3) las *Todidae* son ancestralmente antillanas, y alguna de sus especies alcanzó el continente por dispersión, donde luego operó una fuerte radiación hasta producir otros seis géneros distintos.

De acuerdo con **Croizat** (1958), es imposible someter a prueba cualquiera de estas tres explicaciones, por lo que carecen de validez científica. Si la distribución actual es resultado de eventos de dispersión, ¿cómo se explican los numerosos casos de endemismo en las islas, incluso al nivel genérico, aun en aquellas que tienen supuestamente un origen oceánico? Normalmente se había asumido un origen distinto de los dos grupos de islas antillanas. Se sugería que las Antillas mayores habían tenido periodos de conexión al continente, mientras que las Antillas menores habían estado aisladas del continente desde su origen. Ambos sistemas insulares tienen identidad biológica propia. El núcleo central de las Antillas menores —Guadalupe, Dominica, San Vicente, Santa Lucía y Martinica— tienen géneros endémicos de aves como *Conococerthia*, *Ramphocinclus* y *Cichlherminia*, mientras que las especies antillanas de *Magnolia* se distribuyen sólo en las tierras altas del bloque principal de las Antillas mayores —Cuba, Española y Puerto Rico—. Sin embargo, existen otros grupos que relacionan a ambos núcleos como *Talauma* (cercana a *Magnolia*).

El análisis panbiogeográfico de **Croizat** reveló relaciones más complejas entre las Antillas y la biota de otros lugares. Los rasgos más relevantes de la biota antillana indican sucintamente: (1) un trazo que relaciona al bloque de las Antillas menores con el Caribe sudamericano (norte de Colombia, Venezuela y Guyana) y con la península de Florida; (2) otro trazo que relaciona el bloque de las Antillas mayores con dos porciones de América Central: las Sierras de Chiapas y Guatemala, por una parte, y

Panamá-Costa Rica por otra, ambas separadas por la depresión de Nicaragua; y (3) la naturaleza compuesta de la biota de Cuba, la cual se relaciona en su extremo oriental con el oeste de la Española, Jamaica y América Central (Sierras de Chiapas y Guatemala hasta la depresión de Nicaragua), mientras que el resto de la isla tiene relaciones más estrechas con Florida, Oriente de la Española y el núcleo de las Antillas Menores.

### Espacio, tiempo, forma

La línea geométrica por definición es un ente invisible. Es la traza que el punto deja al moverse y por lo tanto es un producto suyo. Surge de la alteración del reposo total del punto. Con ella se salta de una situación estática a una dinámica...la recta...la forma más simple de la infinita posibilidad de movimiento

*Punto y línea sobre el plano.* Wassily Kandinsky, 1923

**Croizat** centró su crítica al darwinismo no tanto en la evolución de la forma, sino en la del espacio, ya que es finalmente a través del tiempo y el espacio que la forma cambia. Ha sido señalado repetidamente que Darwin asignó un papel importante al espacio en la formulación de su teoría de la descendencia con modificación. No es casual que justo en el primer párrafo de su obra capital haga referencia directa a la distribución orgánica: "Cuando iba como naturalista a bordo del H. M. S. *Beagle*, me sorprendieron mucho ciertos hechos de la distribución de los seres vivos que viven en América del Sur... "(**Darwin**, 1859, *El origen de las especies*).

**Croizat** consideraba que, si bien Darwin reconoció explícitamente la importancia de la distribución geográfica de los organismos, falló en su interpretación, de modo que tomó la original iniciativa de poner a prueba la hipótesis darwiniana que supone a la distribución orgánica como el resultado de la dispersión a partir de centros de origen. **Croizat** desarrolló así su método de trazos para analizar los patrones de distribución de múltiples taxones, y encontró que esos patrones se repetían, y que lo mismo los compartían organismos relativamente ágiles, como aves y mariposas, que organismos extremadamente sedentarios, como lombrices de tierra e insectos ápteros. Estos patrones recurrentes relacionaban áreas ampliamente separadas en la geografía actual, como por ejemplo, el oriente de Asia y América del Sur, y además entraban en conflicto con las regiones biogeográficas tradicionales, concebidas entonces como estables y coherentes. A partir de que **Wallace** popularizó las regiones de **Sclater**, la concepción permanentista se convirtió en un enunciado central del dispersionismo. En *La distribución geográfica de los animales*, **Wallace** (1876) adoptó el sistema de regio-

nes de Sclater aduciendo dos razones principales: (1) que era inteligible y no contradecía la costumbre, y (2) que reflejaba las divisiones *naturales* de la superficie terrestre. Así, se afirmaba que las regiones zoogeográficas se correspondían con los rasgos principales y más estables de la geografía. Por el contrario, admitir que las regiones actuales eran configuraciones meramente pasajeras y mudables implicaba negarlas como las divisiones primarias de Sclater (Fichman, 1977). Incluso en tiempos relativamente recientes, y a pesar de las evidencias de la expansión del fondo oceánico, uno de los líderes principales del neodarwinismo (Mayr, 1984) ha persistido en el intento de rescatar el principio permanentista, aduciendo que si bien pueden admitirse cambios en la posición relativa y en las relaciones entre las grandes masas continentales, sus rasgos generales han permanecido esencialmente estables.

A partir de las relaciones entre áreas disyuntas que daban los trazos, Croizat refutó los sistemas de regiones

fitogeográficas y zoogeográficas de Wallace y De Candolle, a los que consideró como derivados de una concepción permanentista. En cambio, admitió fragmentaciones de la superficie terrestre, que es sobre la cual los seres naturales muestran un cierto orden en su distribución. Tal rechazo a la concepción permanentista permitió cambiar de una historia natural a una historia de la naturaleza, ya que el rompimiento implica una secuencia, una historia. Esa fragmentación abre la posibilidad de tratar de entender a la naturaleza desde un punto de vista histórico.

*Space, time, form: The biological synthesis* (1964) es la obra más 'filosófica' de Croizat y, de acuerdo con su autor, constituye un resumen de sus tres libros anteriores (Croizat, 1952, 1958, 1960). En la introducción y primer capítulo, Croizat brindó algunas precisiones acerca de su método panbiogeográfico. De acuerdo con Croizat, el fenómeno de la dispersión —"de interés inmediato para la evolución en relación con el espacio y el tiempo" (Croizat, 1964: ii)— de algún modo fue sofocado por

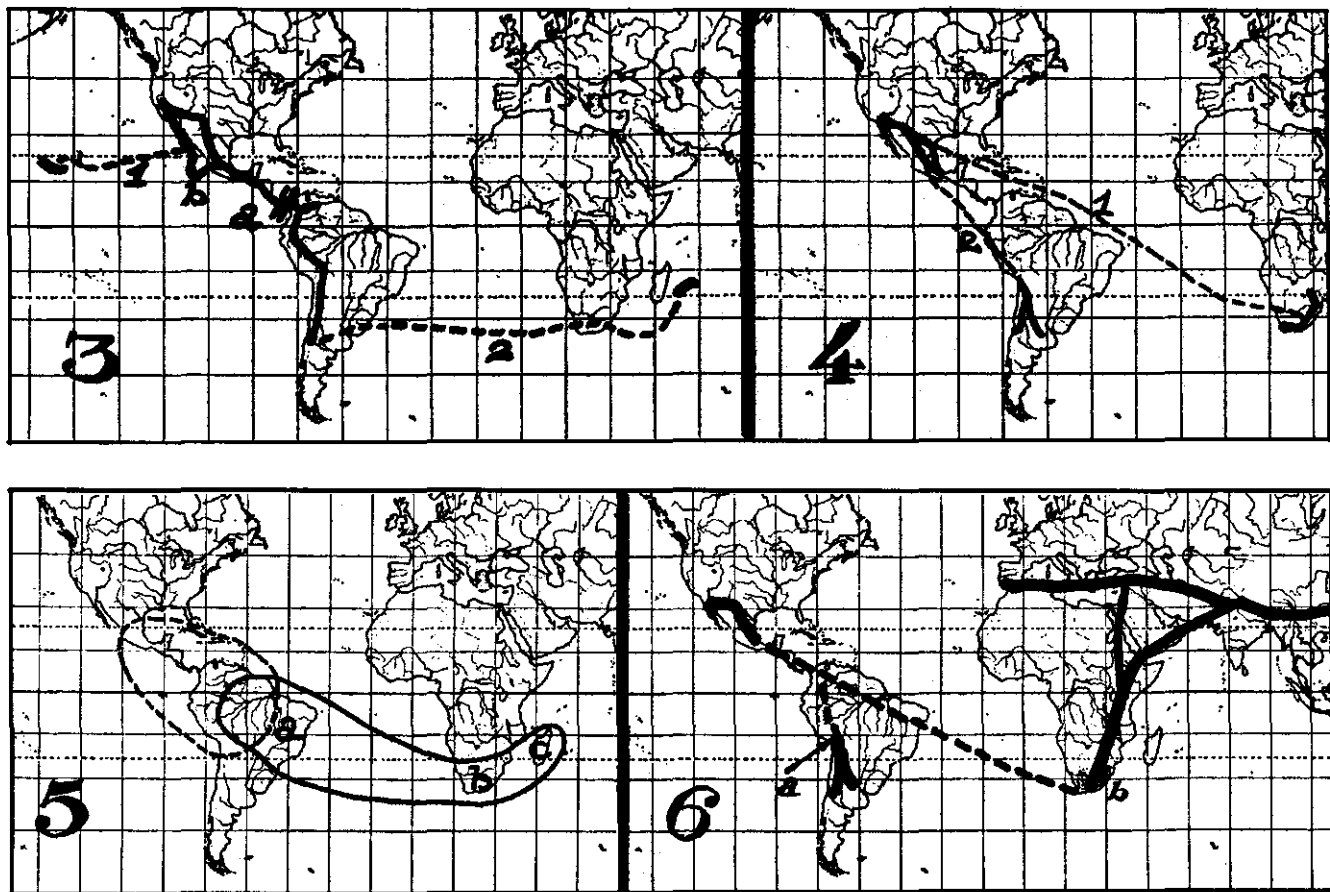


Figura 9. Trazos representados por Croizat (1958: 16, 22). 3, *Lepechinia*; 4, *Menodora*; 5, *Phenakospermum*, *Strelitzia* y *Ravenala*; 6, *Menodora* y *Jasminum*.



autores anteriores bajo un pesado bagaje de supuestos teóricos. En este sentido, la aplicación del método panbiogeográfico conduce a "descubrir lo que la naturaleza misma nos dice a través de estrictos registros fácticos" (Croizat, 1964: iii).

El medio práctico y analítico empleado por Croizat para su análisis biogeográfico fue la construcción de trazos, los "grafos de distribución geográfica" o las "coordenadas primarias... en *espacio*, que nos abren el camino hacia investigaciones acerca de los factores de *tiempo* y *forma*" (Croizat, 1964: 7, *itálicas en el original*). (Cabría acotar que, de acuerdo con Craw (1988a), la concepción de estos trazos no sería original de Croizat, sino que provendría de Van Steenis (1934-35)). Mediante la comparación objetiva de estos trazos es posible descubrir patrones (Fig. 9), los que a su vez permitirán comprender conjuntamente la diferenciación morfológica ('form-making') y la translación en espacio. Según Croizat, no es posible especular acerca de la diferenciación morfológica de un taxón determinado sino es en el contexto del espacio y el tiempo, y la translación en espacio no necesariamente equivale a migración.

En el capítulo 2, el autor exploró las relaciones entre los trazos y la evolución geológica. A partir de numerosos ejemplos, Croizat demostró la correlación entre las distribuciones de taxones de animales y plantas con los geosinclinales. En el capítulo 3 presentó diversos ejemplos de la aplicación del método panbiogeográfico. Uno de ellos se refiere al género *Gossypium* en el Nuevo Mundo, y muestra interesantes conexiones entre México, las islas Hawaii y Galápagos, y Ecuador (Fig. 10). Otros ejemplos se refieren a la distribución de *Pedilanthus*

(Euphorbiaceae) y la biogeografía del Caribe, las Antillas, el océano Pacífico y Australia.

El extenso capítulo 4 fue dedicado a la diferenciación morfológica debida a la vicarianza. Mediante un diagrama (Fig. 11), Croizat expresó el modo en que un taxón ancestral (A) se encuentra inicialmente ampliamente distribuido en un área, aunque diferenciado en dos taxones subordinados, como subespecies o razas (a y b). Cuando surgen montañas, lagos y volcanes, actúan como barreras que fragmentan la distribución original e inducen la diferenciación de nuevos taxones. Una vez que los mismos se han diferenciado, es posible que incrementen o disminuyan su área de distribución. Este proceso involucra dos etapas diferentes: el inmovilismo, responsable de la vicarianza, y el movilismo, que permite la expansión de las distribuciones.

En los capítulos 6 y 7 se describieron diferentes aspectos de la evolución vegetal, animal y humana, discutiéndose el modo que la ortogénesis afecta el curso de la evolución. El capítulo 8 constituye una crítica al darwinismo, en que básicamente se contrastan las ideas de Darwin del *Viaje del Beagle* con las de *El origen de la especie*. Asimismo, Croizat discutió la biogeografía de las islas Galápagos y nociones acerca de teleología, selección natural y adaptación.

En el capítulo 9 estableció las conclusiones de su obra, las que también constituyen un resumen de las ideas de Croizat. A continuación detallamos las principales, en especial relación con la biogeografía:

(1) La evolución orgánica es función del espacio, el tiempo y la forma. De estos tres elementos, el espacio es el

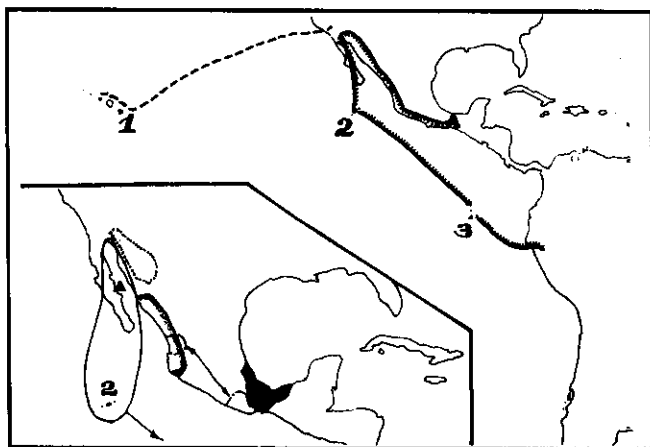


Figura 10. Trazo de *Gossypium*, representado por Croizat (1958: 92).

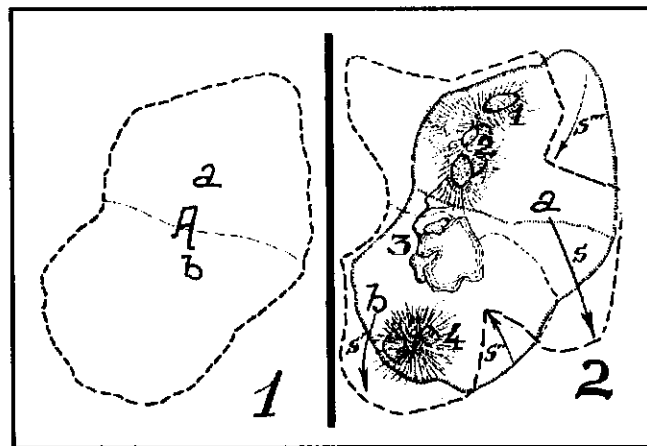


Figura 11. Diagrama de Croizat (1958: 188) para ilustrar el proceso de diferenciación morfológica en espacio y tiempo.

que concierne particularmente a la biogeografía, aunque interactúa necesariamente con el tiempo y la forma. Por ello, una comprensión satisfactoria de la evolución orgánica es inseparable de la apreciación constructiva de la biogeografía.

(2) La biogeografía, como ciencia del espacio y el tiempo, tiene una relación íntima con la geología, especialmente con sus aspectos históricos y tectónicos, pues Tierra y vida evolucionan juntas.

(3) La panbiogeografía no es una teoría, sino un método de análisis de la distribución geográfica de animales y plantas. Este análisis se basa en un método estrictamente comparativo y estadístico, que (i) descarta teorías formuladas *a priori*, reemplazándolas con inferencias sobre los hechos, de acuerdo con el sentido común; (ii) elimina discusiones acerca de los méritos de los diferentes enfoques, siendo el único enfoque válido la comparación a una escala suficiente que permita descartar los casos excepcionales; y (iii) descarta el principio de autoridad como carente de valor, cuando se lo contrasta con los hechos y el sentido común. Así concebida, la panbiogeografía no cuenta con el favor académico, pues en realidad está destinada a destruir radicalmente todo lo que es comfortable académicamente sin por ello ser verdadero.

(4) La panbiogeografía es independiente de otras ciencias, aunque interactúa y colabora con ellas, en lo general y en lo particular. La panbiogeografía no intenta imponer sus métodos, principios y conclusiones a otras ciencias, siendo inevitable lo recíproco.

(5) En sus métodos y principios, la panbiogeografía es esencialmente incompatible con la zoogeografía y fitogeografía derivadas de los conceptos darwinianos de 'distribución geográfica', 'origen de las especies', 'migraciones' y 'medios casuales'. El avance del conocimiento en el futuro permitirá discernir entre la panbiogeografía y lo que se le pueda parecer sin compartir esencialmente su método y principios.

(6) La decisión entre la panbiogeografía y lo que se la parezca más cercanamente se hará, como ocurre siempre en la ciencia, en términos de su eficiencia para avanzar en el conocimiento.

(7) La panbiogeografía tendrá una influencia poderosa en el pensamiento biológico, considerando Croizat que su trabajo era preliminar. Esta influencia provendrá básicamente de la revalorización de la interacción entre espacio, tiempo y forma.

(8) En la evolución es posible discernir claramente entre dos momentos. Uno es primariamente direccional (ortogenético), es decir que resulta del despliegue de premisas estructurales que, una vez establecidas, determinan el curso de la evolución a lo largo de secuencias irreversibles. El otro momento involucra adaptación y selección natural en función de la dirección primaria. Las teorías evolutivas que fallan en discriminar entre estos dos momentos no pueden ser satisfactorias; por ejemplo la idea de 'ortoselección' confunde ambos momentos. Un

ave es ortogenéticamente un ave antes de estar expuesta a la selección que la haga ser un buitre o un gorrión. La adaptación y la selección necesariamente operan sobre una base proporcionada por la ortogénesis.

(9) Siempre resulta posible asignar un conjunto de morfologías diferentes a un nodo morfogenético común. Las diferencias morfológicas observables entre los componentes de una familia de plantas o animales, es decir un conjunto de géneros consanguíneos, es función de la morfogénesis característica de la familia como un todo. La morfogénesis descansa sobre un concepto primario de conjunto estructural modificable en detalle, siendo la morfología su consecuencia.

(10) El proceso básico de diferenciación morfológica en la naturaleza está dado por la fragmentación de una población ancestral en grupos subordinados, requiriendo este proceso como condición esencial que exista la capacidad potencial de cambio durante el periodo de aislamiento. La adaptación sólo opera secundariamente sobre un componente primario provisto por la ortogénesis.

(11) Consistiendo esencialmente en la fragmentación de una población ancestral en poblaciones subordinadas en espacio y tiempo, debido a modificaciones de la forma, el proceso de diferenciación morfológica, esencial para la evolución, conlleva como subproductos a la vicarianza geográfica, taxonómica y ecológica. Algunas fórmulas simples que representan las interrelaciones esenciales entre biogeografía y evolución son las siguientes: (i) evolución = espacio + tiempo + forma; (ii) dispersión (en general) = translación en espacio + diferenciación morfológica; (iii) dispersión (en el tiempo de diferenciación morfológica vicariante o inmovilidad) = diferenciación morfológica + translación en espacio; (iv) dispersión (en el tiempo de la radiación activa, migración o movilidad) = translación en espacio + diferenciación morfológica.

(12) Dado que la diferenciación morfológica en la etapa de inmovilidad es un proceso fundamental de la evolución y la dispersión, el que un taxón en un área excluya a otro taxón afín es un hecho de la mayor importancia, pues es la prueba de que ambos han evolucionado separadamente y demuestra que las teorías que postulan 'migraciones', 'medios casuales' y 'ecología', como medios biogeográficos son esencialmente erróneas.

(13) Los patrones de distribución de plantas y animales, cualesquiera sean sus medios de dispersión, son absolutamente congruentes, como un hecho natural, en un mínimo de trazos y centros. Dado que esos trazos y centros para la 'vida moderna' fueron establecidos por la paleogeografía de hace 200 millones de años, la dispersión se repite sin cesar.

(14) No existe nada casual en la naturaleza, pues todo obedece a leyes inflexibles, aun si sus manifestaciones son diferentes en detalle. La forma, en sus aspectos técnicos, puede llevarnos a consideraciones diferentes si el objeto de nuestro estudio es una margarita o una ballena, pero la diferenciación morfológica como proceso en espacio y tiempo es por el contrario la misma para ambas.



(15) El darwinismo es inviable como teoría general de la evolución debido a que: (i) originalmente no fue claro en cuanto a hechos de la mayor relevancia, como la interrelación entre forma tiempo y espacio, o entre 'leyes de crecimiento' (ortogénesis) y adaptación / selección natural; (ii) evita enfrentar los problemas que van más allá de la 'selección natural', por vicios de su origen, que nunca fueron corregidos en los desarrollos subsiguientes; y (iii) es responsable de un vasto vocabulario técnico que, quizás aunque preciso en ciertos aspectos, es tan impreciso en otros que impide la discusión eficaz.

(16) Es falso que el 'origen de las especies' sea un problema fundamental para la biología, éste es sólo uno de los muchos problemas de la evolución en general. Resulta desafortunado que los autores que han aceptado el 'origen de las especies' como dado, hayan fallado al discriminar entre dos conceptos diferentes: (i) la especie como eslabón en la cadena de cambio evolutivo y como conjunto de poblaciones con un ancestro común; y (ii) la especie como grupo que podemos definir absolutamente y otorgar un nombre binominal. Esto ha inducido a los naturalistas a definir la especie a cualquier costo en el sentido de la taxonomía formal, como prerrequisito para discusiones de otra índole, con lo que se privilegian las palabras en lugar de los conceptos.

Una apreciación muy interesante de *Space, time, form* es la de **Craw & Heads** (1988). Estos autores analizan esta obra a través de la perspectiva deconstructivista del filósofo francés Jacques Derrida, quien mediante relecturas/ reescrituras de algunos textos 'clásicos' destruye/ reconstruye conceptos tradicionales. En este sentido, **Craw & Heads** (1988) consideran que *Space, time, form* es la deconstrucción de *El origen de las especies de Darwin* (1859). En esta última, Darwin siguió la secuencia siguiente: variación en el estado doméstico y selección natural (capítulo 1), el problema de la especie (capítulo 2), competencia (capítulo 3), selección natural (capítulo 4), leyes de crecimiento (capítulo 5), dificultades de la teoría (capítulo 6), objeciones a la teoría (capítulo 7), instinto (capítulo 8), hibridación (capítulo 9), registro geológico (capítulos 10 y 11), biogeografía (capítulos 12 y 13), el sistema natural, morfología y embriología (capítulo 14) y conclusiones (capítulo 15).

El texto de Croizat invierte o deconstruye la secuencia de Darwin: biogeografía y su relación con la geología (capítulos 1-3), evolución en relación con la biogeografía (capítulo 4), leyes de crecimiento (capítulos 5 y 6), el problema de la especie (capítulo 7) y selección natural (capítulo 8). De este modo, quedaría evidenciada la preeminencia otorgada por Croizat al espacio, en contraposición a la importancia dada por Darwin a la forma (ver discusión más adelante).

## El debate entre la prioridad de la forma y el espacio

No hay, por tanto, que sorprenderse de que no exista trayecto que permita colmar la distancia entre dos cosas...*no son dos cosas* ontológicamente diversas, sino una sola concebida bajo distintos modos de pensamiento.

*Sobre los espacios: pintar, escribir, pensar.* J. L. Pardo, 1991

A pesar de las fuertes críticas que han hecho a la panbiogeografía, los biogeógrafos vicariancistas reconocieron el mérito de la obra de Croizat, ya que representó un rompimiento con la tradición biogeográfica de Darwin-Wallace. La voluminosa obra de Croizat puede reducirse a dos enunciados que sintetizan su visión de la historia de la Tierra y la evolución:

1. La explicación de que áreas diferentes tengan especies distintas es el cambio tectónico y no la dispersión.
2. Las principales regiones biogeográficas no se corresponden con los continentes actuales, los cuales tienen un origen híbrido y complejo, sino con las modernas cuencas oceánicas.

Esta concepción implica una diferencia fundamental con la biogeografía dispersionista del darwinismo, pues considera que las áreas de endemismo están interrelacionadas causalmente. Mientras que el dispersionismo separa la historia geológica de la distribución orgánica, la panbiogeografía de Croizat las une (**Humphries & Parenti**, 1999).

Darwin expresó una concepción estática del espacio. De acuerdo con su modelo evolutivo, las especies se generan lenta y sucesivamente en 'centros de origen' para después dispersarse sobre la superficie terrestre, debido a que ocurren cambios climáticos así como de disponibilidad de hábitat. Ello supone que los rasgos geológicos y geográficos son anteriores a los organismos, y aunque la Tierra evoluciona de manera lenta y continua, los continentes permanecen esencialmente estáticos sobre una superficie terrestre de dimensiones fijas. Croizat hizo ver que la Tierra y la biota siempre han evolucionado conjuntamente, incluso antes de que se aceptara la Teoría de Tectónica de Placas y, por ende, la movilidad de los continentes. La panbiogeografía reconoce que la única forma de descubrir la historia biogeográfica es mediante el examen de los patrones globales de distribución de la vida, ignorando mecanismos preconcebidos sobre procesos. Croizat no suscribió las áreas de endemismo propuestas por De Candolle, Sclater y Wallace, considerando que estaban definidas de forma un tanto arbitraria, pues creía

que sólo mediante el análisis de las biotas podrían llegar a establecerse las entidades biogeográficas naturales (Humphries, 2000).

La panbiogeografía (al igual que la biogeografía de la vicarianza) fue criticada desde el punto de vista estadístico. **Simberloff et al.** (1979) hicieron notar que el concepto de trazo generalizado no había sido sometido a prueba estadística alguna y podría ser un mero artefacto. Un trazo generalizado es un conjunto de distribuciones coincidentes y se considera como una evidencia *prima facie* en contra de que la dispersión haya causado ese patrón; sin embargo, nunca se especifica el universo de distribuciones del cual se obtuvo la muestra de distribuciones coincidentes. Al construir trazos generalizados, se procede inductivamente, ya que se buscan datos confirmatorios en vez de datos falsatorios. Por ejemplo, sería bastante improbable predecir un trazo de ocho taxones coincidentes especificando de antemano los taxones en particular, pero suponiendo que hubiera 100 taxones en la región bajo análisis, habría  $(100/8) = 1.86 \times 10^{11}$  octetos. Dentro de este enorme número, no sería sorprendente que alguno de los octetos tuviera taxones con distribuciones coincidentes. A tales críticas estadísticas tuvieron que responder las escuelas de biogeografía histórica contemporáneas.

En 1984, los neozelandeses Robin Craw y Peter Weston emplearon la metodología de los programas de investigación de Imre Lakatos para analizar los diferentes enfoques actuales de la biogeografía histórica. De acuerdo con el criterio de **Lakatos** (1978), un programa de investigación es progresivo cuando las modificaciones que ocurren conducen a nuevas predicciones teóricas o a confirmaciones empíricas. La panbiogeografía, desde el punto de vista de **Craw & Weston** (1984), resulta ser la corriente más progresiva de la biogeografía histórica, en comparación con el dispersionismo y la biogeografía de la vicarianza, en razón de su capacidad predictiva y heurística.

No obstante, esa conclusión ha sido rebatida por adherentes de la biogeografía de la vicarianza. **Seberg** (1986), si bien reconoce a la obra original de Croizat como una corriente que sirvió de impulso para el desarrollo de la biogeografía de la vicarianza, considera que la versión modificada de la panbiogeografía que han desarrollado los biólogos neozelandeses tiene una pesada carga de supuestos *a priori*. Afirma que acaso la única contribución original de Croizat fueron sus conceptos de trazo y trazo generalizado, de los cuales ya había antecedentes en el trabajo de **Jeannel** (1942), quien los llamaba 'líneas filéticas'. Calificó como fútil el intento de **Craw & Weston** (1984) por analizar a la panbiogeografía de acuerdo con el modelo de Lakatos, aduciendo en primer término que

hay algunos puntos no aclarados en este modelo: ¿todos los programas de investigación tienen un núcleo duro?, ¿qué es precisamente lo que distingue al núcleo duro como opuesto al cinturón protector?, ¿quién decide cuál es la parte del núcleo duro no sujeta a prueba y cuál es el cinturón de seguridad que sí está sujeto a prueba? Además, el programa de Lakatos parece adecuado para elaborar explicaciones retrospectivas, pero no para aplicarse a programas rivales contemporáneos. Así, mientras que **Craw & Weston** (1984) consideran al dispersionismo/centro de origen como un programa degenerativo, sus adherentes podrían argumentar que el concepto de centro de origen es parte del núcleo duro, mientras que los 13 criterios citados por **Cain** (1944) son su cinturón protector, con lo que el dispersionismo resultaría también un programa progresivo. Cuando no se ve retrospectivamente, el núcleo duro de cualquier programa más bien parece un escudo *ad hoc* que puede delimitarse y extenderse a voluntad.

Los vicariancistas efectuaron críticas a la panbiogeografía desde el punto de vista metodológico (**Seberg**, 1986; **Platnick & Nelson**, 1988); señalaron que el procedimiento que se sigue para dar orientación a los trazos es ambiguo, pues puede hacerse tomando en cuenta la distancia mínima con respecto al vecino más cercano o bien con base en relaciones filogenéticas entre los taxones. Incluso los trazos pueden orientarse de acuerdo con la ubicación de los *centros de masa*, que son áreas en donde existe la máxima diversidad genética, numérica o morfológica. Este último inevitablemente recuerda a los criterios ambiguos que se usaron tanto tiempo en el enfoque dispersionista para determinar centros de origen y, por tanto tienen la misma debilidad, que esencialmente es que son apriorísticos (**Cain**, 1944; **Bueno & Lorente**, 1991). Resulta así que hay una confusión metodológica en la construcción de trazos, pues no se sabe cuál de los tres criterios se ha empleado. Por otra parte, se asume *a priori* que los trazos deben estar contenidos dentro de bases oceánicas, sin dar razones convincentes del por qué tendría que ser así.

La afirmación de que la panbiogeografía ha hecho predicciones novedosas que después han sido corroboradas por la geología histórica (**Craw & Weston**, 1984) también fue cuestionada por **Seberg** (1986). Las reconstrucciones sobre la sucesión de eventos geológicos en la historia de las áreas generalmente son tan incompletas e imprecisas que pueden servir para justificar hipótesis biogeográficas diferentes e incluso opuestas. Algunos modelos de geología histórica podrían verificar las supuestas predicciones de la panbiogeografía, aunque otros podrían contradecirlas. Así, el poder predictivo que le

asignan los biogeógrafos neozelandeses a la panbiogeografía puede ser mera ficción, pues cuando hay conflicto entre los trazos y la geología, basta postular otra hipótesis geológica *ad hoc* para salvarlo. Pero además hay otra implicación importante a este respecto: la geología histórica se convierte ahora en el árbitro final de las hipótesis biogeográficas, pues es la que determina si un programa es progresivo o degenerativo. Entonces, resulta que la versión de la panbiogeografía que desarrollan *Craw* y *Weston* deja a este enfoque como mero anexo de la geología histórica, más que como una teoría biogeográfica independiente, lo cual no era lo que sostenía *Croizat*.

**Platnick & Nelson** (1988) efectuaron un deslinde entre las ideas propiamente de *Croizat* y las de los biogeógrafos neozelandeses. A la corriente elaborada por estos últimos prefirieron denominarla 'biogeografía de los árboles de tendido mínimo', más que panbiogeografía. Su principal característica, según afirmación de sus propios adherentes, es que permite establecer relaciones biogeográficas con poca e incluso sin información cladística sobre los taxones implicados. Ello permitiría resolver las relaciones biogeográficas sólo con base en la proximidad geográfica, lo cual representaría un ventajoso 'atajo' que evitaría el gran consumo de tiempo que lleva el análisis cladístico.

Los panbiogeógrafos han promovido el uso de árboles de extensión mínima, que se distinguen por conectar los puntos (taxones o áreas) de manera directa, a diferencia de los árboles mínimos de *Steiner*, los cuales adicionan puntos hipotéticos para acortar las distancias entre los puntos reales que se están analizando. **Page** (1987) justificó este procedimiento argumentando que el considerar la distancia mínima entre las localidades actuales no implica suponer que la evolución sea parsimoniosa. Tampoco supone que los árboles de extensión mínima representen con precisión la distancia entre las localidades en el pasado. Simplemente, el unir los puntos por distancia mínima se practica un recurso metodológico que puede aplicarse de manera general en ausencia de otra información para la construcción de trazos. Pero si hubiera información cladística de que el vecino geográfico más cercano no es el pariente filogenético más próximo, se debe abandonar el criterio de distancia mínima.

**Page** (1987) argumentó como una razón a favor del uso de árboles de extensión mínima el que se pueden calcular de manera exacta y eficiente, además de que resultan computacionalmente económicos. **Platnick & Nelson** (1988) señalaron que la facilidad de calcularlos en sí misma no es una razón para considerarlos una herramienta más

apropiada. El unir los vecinos geográficamente más cercanos llevaría a conclusiones erróneas cuando esos vecinos no fueran también los parientes más cercanos o cuando la geografía actual no es la misma que había en el tiempo en que se originaron los taxones. Cuando se trabaja con un conjunto grande de datos, es probable que se presente cualquiera de estas dos condiciones, por lo que los árboles de extensión mínima resultarían frecuentemente inadecuados. Recuérdense los casos de colisión o convergencia de placas tectónicas continentales *v. gr.* India-Asia.

Una crítica fundamental que los biogeógrafos vicariancistas han hecho a la panbiogeografía radica en el empleo relajado que hace esta última del análisis filogenético. En el método de **Page** (1987), aunque se considera útil la información cladística, sólo sirve para orientar los árboles de extensión mínima, es decir, para enraizarlos. Ello representa, a fin de cuentas, una simple aplicación parcial de la regla de la progresión de *Hennig*, que asocia la progresión morfológica con la progresión corológica, y *a priori* supone que la forma más ancestral se encuentra en el centro de origen. La información cladística no se usa entonces para lo fundamental, que es revelar las relaciones filogenéticas, las cuales pueden quedar enmascaradas por la geografía actual. Si no se dispone de información cladística, se pueden cometer errores tanto en la construcción misma de los árboles de extensión mínima como en asignarle raíz. Dado que el número de taxones en donde no se ha efectuado análisis cladístico sobrepasa con mucho al de los taxones analizados, la construcción de trazos no serviría para develar relaciones históricas entre áreas, sino que sólo reflejaría su proximidad geográfica actual (**Platnick & Nelson**, 1988).

**Craw** (1988) justificó el uso de árboles de extensión mínima recurriendo al criterio *hennigiano* de la iluminación recíproca entre la sistemática y la biogeografía. La panbiogeografía aduce que las relaciones espaciales pueden sugerir relaciones genealógicas. El caso clásico que suelen citar los panbiogeógrafos es el de las plantas carnívoras, afirmando que *Croizat* redefinió las relaciones taxonómicas entre dichas plantas con base en sus relaciones espaciales. Sin embargo, **Platnick & Nelson** (1988) advirtieron que *Croizat* no se basó en la proximidad geográfica, sino en sus caracteres morfológicos para reagruparlas. Así, mientras que para los panbiogeógrafos los caracteres son evidencia blanda para establecer relaciones taxonómicas, los biogeógrafos de la vicarianza los ven como la única evidencia directa que puede servir para construir una clasificación precisa, independientemente de su distribución en el tiempo y en el espacio. Los

vicariancistas señalan que si bien *Craw* está en lo correcto al aceptar que la incongruencia de un taxón con un patrón biogeográfico reconocido puede *sugerir* una hipótesis sistemática incorrecta, la incongruencia por sí misma no puede tomarse como *evidencia*. Los métodos que buscan dar respuestas rápidas haciendo a un lado el análisis cladista, como ya lo demostró la taxonomía fenética, más que atajos pueden ser desviaciones que conducen a callejones sin salida (**Platnick & Nelson, 1988**).

La biogeografía de los árboles de tendido mínimo sólo revela los rasgos más generales de los patrones de distribución y es insuficiente para resolver relaciones a niveles más finos. Cualquier congruencia revelada por la biogeografía de los árboles de extensión mínima siempre será incierta, pues siempre queda la posibilidad de que sólo sea un artefacto producido por la vecindad geográfica. Finalmente, los resultados de la panbiogeografía y las relaciones que encuentra únicamente pueden evaluarse por su congruencia o su incongruencia con los resultados del análisis cladístico de caracteres (**Platnick & Nelson, 1988**).

Aun suponiendo que la construcción de trazos revelara conexiones causales entre áreas, son incapaces para develar con precisión el grado diferencial de relación entre las áreas bajo análisis (**Bueno & Llorente, 1991**). Al no definir un patrón jerárquico de interrelaciones, solamente dan un conocimiento incompleto de las relaciones históricas entre las áreas (**Humphries & Parenti, 1987**). En cambio, los cladogramas de área precisan cuáles son los pares de áreas más estrechamente relacionadas entre sí, permitiendo con ello plantear hipótesis falsificables *sensu* **Popper (1962)**.

A pesar de lo que afirman los adherentes de la panbiogeografía, el método de trazos carece de rigor para definir cuáles son los datos brutos de las homologías biogeográficas y qué es precisamente lo que determina las relaciones de área. En consecuencia, el concepto de región pierde significado cuando se clasifica usando grados de similitud. Incluso los trazos generalizados, aunque ofrecen una solución para identificar áreas de endemismo, sólo contienen enunciados generales de conexiones entre áreas. Sólo hasta que **Hennig** clarificó el concepto de relaciones en sistemática, se pudo entender la relación entre áreas de endemismo (**Humphries & Parenti, 1999**). Para que una teoría biogeográfica tenga sentido, debe ser capaz de formular enunciados falsables a varios niveles: primero, ¿qué constituye un área?; segundo, ¿cuáles son las relaciones entre esas áreas?, y tercero, ¿cuál de las dos clases de factores causales, la

vicarianza o la dispersión, es el que tiene mayor relevancia para nuestras hipótesis sobre la historia biótica de la Tierra?

La panbiogeografía busca, mediante el empleo de trazos generalizados, reconstruir biotas ancestrales que se habrían fragmentado a través del tiempo mediante cambios geográficos. La biogeografía cladística en lo general comparte esta aspiración, aunque considera que el punto débil de la panbiogeografía es que no define claramente qué es lo que constituye las relaciones entre áreas. La biogeografía cladística se interesa por definir cómo se reconocen tanto las áreas como las relaciones entre áreas. Afirma que al asumir una clara correspondencia entre las relaciones sistemáticas de diferentes taxones en áreas similares, proporciona relaciones biogeográficas informativas sobre las biotas de esas áreas. Las relaciones de áreas se infieren a partir de los nodos internos de cladogramas, los cuales tienen en los nodos terminales la distribución geográfica de los taxones. Las relaciones históricas de las áreas se infieren por la congruencia entre los patrones de dos o más grupos de taxones, y la historia común queda representada en diagramas ramificados, con relaciones jerárquicas entre áreas derivadas de los cladogramas de taxones (**Humphries, 2000**).

Se puede entender que **Croizat** no tuviera mucha confianza en que el análisis de caracteres pudiera develar las relaciones entre los grupos de niveles inferiores, ya que la práctica taxonómica de su época definía a las especies por unos cuantos caracteres. Ello explica que haya recurrido a la biogeografía para develar la historia de los taxones y sus interrelaciones, aunque ello no significa que considerara a la proximidad geográfica como un criterio decisivo en sí mismo. Las razones personales por las cuales **Croizat** rechazó a **Hennig**, podrían explicar su aversión al análisis de caracteres y a la sistemática en general, y su convicción de la precedencia de la biogeografía. Los biogeógrafos neozelandeses continuaron con esa tendencia, elaborando una 'panbiogeografía' cada vez más independiente de la sistemática (**Platnick & Nelson, 1988**).

### ¿Hay analogía espacio-taxones y taxones-caracteres?

La Tierra está escrita, pero sus mensajes están siempre encapsulados unos en otros, envueltos y arrollados en un pergamino infinito....

*Sobre los espacios: pintar, escribir, pensar.* J. L. Pardo, 1991

**Hovenkamp (1997)** resumió las críticas a la biogeografía de la vicarianza. Los enfoques de la

biogeografía que emplean cladogramas de principio asumen una analogía estricta entre análisis filogenético y análisis biogeográfico. Sin embargo, según este autor, mientras que existe una teoría evolucionista que predice la existencia de taxones que se relacionan entre sí de manera jerárquica, no hay una teoría biogeográfica equivalente que prediga la jerarquía de áreas de endemismo. Incluso hasta podría dudarse de la existencia de tales áreas pues siempre que se trata de ver la coincidencia entre las áreas de distribución de dos taxones, resulta que no tienen exactamente la misma distribución. Aunque esto es un efecto de la escala y del detalle.

En segundo término, la evolución parece ser un proceso principalmente divergente (los casos de fusión de linajes parecen ser sólo una posibilidad teórica). Por tanto, se esperaría una relación jerárquica entre taxones. En cambio, la historia de las áreas rara vez se esperaría que fuera exclusivamente divergente. Más bien, parece que en muchos casos sería exactamente lo opuesto, pues las áreas se juntan y se dan relaciones reticulares entre ellas. Aunque puede admitirse que la historia de la Tierra influye sobre la historia de la vida, y que ésta es fundamentalmente divergente, no se sigue de allí que la historia de la Tierra también tenga que ser divergente y que pueda representarse mediante cladogramas.

En tercer término, es dudoso que los taxones puedan tratarse como si fueran caracteres de áreas, de la misma manera como se trata a los caracteres taxonómicos en el análisis filogenético. Cuando dos taxones comparten un carácter, la similitud homoplástica puede distinguirse de la similitud sinapomórfica porque esta última tiene congruencia con la distribución de otros caracteres. En cambio, en el análisis biogeográfico puede haber similitudes no homólogas, que tienen por causa la transferencia horizontal y no la herencia común (Sober, 1988). Mientras que en el análisis filogenético las similitudes compartidas pueden tratarse como hipótesis de ancestría común, y someterse a prueba de manera independiente, en el análisis biogeográfico los taxones compartidos no sólo pueden tomarse como hipótesis de ancestría compartida, pues hay otra alternativa. Además, no se pueden poner a prueba con la distribución de otros taxones, pues no hay por qué esperar congruencia en la distribución, dado que puede haber otros elementos en la transferencia horizontal.

### La recepción de las ideas de Croizat

La aportación de un material abundante y ordenado a la filosofía, tarde o temprano producirá nuevas síntesis... toda

imagen, ya sea del mundo exterior, o del interior, puede ser expresada en líneas, en una especie de traducción.

*Punto y línea sobre el plano.* Wassily Kandinsky, 1923

*Estados Unidos.* En las épocas tempranas de la panbiogeografía prácticamente ningún científico angloparlante parecía haber leído o considerado seriamente las obras sintéticas de Léon Croizat. Un profesor de la Universidad de Colorado, Áskell Löve (1967), en la revista *Ecology* presentó una impresión general bastante positiva de *Panbiogeography* y en especial de *Space, time, form...*, crítica que además de demorada no parece haber suscitado mayor interés en la inmensa comunidad de biólogos de Norteamérica.

Algunas de las autoridades estadounidenses del dispersionismo, como Simpson, Darlington y Mayr, conocieron la obra de Croizat, pero deliberadamente evitaron mencionarla. Resulta interesante el hecho que durante un breve periodo, Simpson llegó a mantener correspondencia con Croizat (correspondencia que Simpson interrumpió). Ernst Mayr, por su parte, eligió denigrar la obra de Croizat "Ni Simpson ni ninguna otra persona ha afectado mi tratamiento de Croizat, mas que su estilo y metodología totalmente anticientíficos. El tiempo es muy corto para argumentar con autores de este tipo y uno no puede simplemente referirse a Croizat sin un análisis detallado. Yo estoy preparado para ser criticado por ello, pero cualquier científico tiene que decidir donde traza la línea." (Mayr según Nelson, 1977: 452).

En cuanto a Croizat, siempre expresó del modo más franco su disconformidad con estos autores: "El lector del presente artículo puede censurarme por litioso, vio lento, osado, etc, y rechazar de plano mis puntos de vista. Todo eso carece de importancia. Lo verdaderamente importante es, a mi manera de entender, que el lector sepa que yo entiendo la biogeografía como una ciencia biológica fundamental tanto en relación con la biología como la geología, sin 'centro de origen', 'medios de transporte' y 'emigraciones' al estilo de Darwin, quien sigue siendo el Dios a quien Mayr, Darlington, Simpson, etc etc, todavía queman incienso y van cantando alabanzas. No cabe duda de que las obras de estos autores son a menudo ir formativas y merecen como tales ser ojeadas y consultadas. A título de tratados, manuales, etc de BIOGEOGRAFÍA sin embargo no merecen la atención (Croizat, 1983: 174). (Mayúsculas en el original). "Me atrevo a preguntar cuál podría ser el significado biogeográfico y científico y el valor de un enunciado como, por ejemplo, los Marsupialia 'migraron' en alguna época desconocida con algún centro hipotético

(¿Patagonia?, ¿Canadá?, ¿Nueva Guinea?, ¿Tasmania?, etc) usando sus patas como medios de dispersión/ distribución. Si Mayr realmente cree que cuestiones académicas de este tipo, y la proliferación de teorías, adivinanzas, parloteo, etc, que las mismas suscitan, constituyen una CIENCIA DE LA DISPERSIÓN, él está equivocado y se coloca a sí mismo fuera del campo de la ciencia concreta." (Croizat, 1984: 65). (Mayúsculas en el original).

Gareth Nelson, Donn E. Rosen y Norman Platnick, del American Museum of Natural History, decidieron emprender una cruzada a favor de la panbiogeografía de Croizat. En 1973, cuando Nelson era editor de *Systematic Zoology*, invitó a Croizat a enviar un manuscrito sobre panbiogeografía. Varios de los expertos a quienes Nelson contactó se rehusaron a revisar el manuscrito, y de los que aceptaron, uno solo recomendó publicarlo tal cual estaba, mientras que 15 solicitaron modificaciones más o menos sustanciales y cuatro sugirieron rechazarlo (Hull, 1988). En general, los comentarios negativos se referían al particular estilo de redacción de Croizat, o al excesivo énfasis en criticar a sus oponentes, en lugar de presentar sus propias ideas. La mayoría de los revisores, sin embargo, mostró cierta curiosidad por la ideas de Croizat, aunque preferirían una presentación más concisa de sus ideas. Entre los comentarios de quienes declinaron revisar el trabajo, el que más molestó a Nelson fue el de Simpson: "El estudio de la voluminosa obra de Croizat me ha convencido de que él pertenece al círculo de lunáticos. Por ello no puedo hacer una revisión objetiva y sería desleal que actuara como revisor." (Simpson, según Nelson, 1977: 451).

Nelson envió a Croizat su manuscrito con las sugerencias de los revisores y pronto recibió la versión corregida. Ésta, sin embargo, tampoco satisfizo a los revisores. Nelson escribió a Croizat para sugerirle que él y Rosen revisaran el manuscrito y se hicieran coautores del mismo. Rechazar un trabajo de Croizat en coautoría con dos investigadores de una de las instituciones científicas más prestigiosas del mundo, uno el editor del *Systematic Zoology* y el otro el presidente de la sociedad que editaba la revista, iba a resultar muy difícil. Croizat accedió y Nelson y Rosen realizaron tres modificaciones importantes al manuscrito original de Croizat: agregaron una sección introductoria, numerosas citas a pie de página y una discusión de los principios filogenéticos. Así, el trabajo finalmente salió publicado (Croizat *et al.*, 1974).

Pese a la resistencia que despertaba la figura de Croizat entre los dispersionistas, otros miembros del American Museum comenzaron a interesarse en su obra. En 1973,

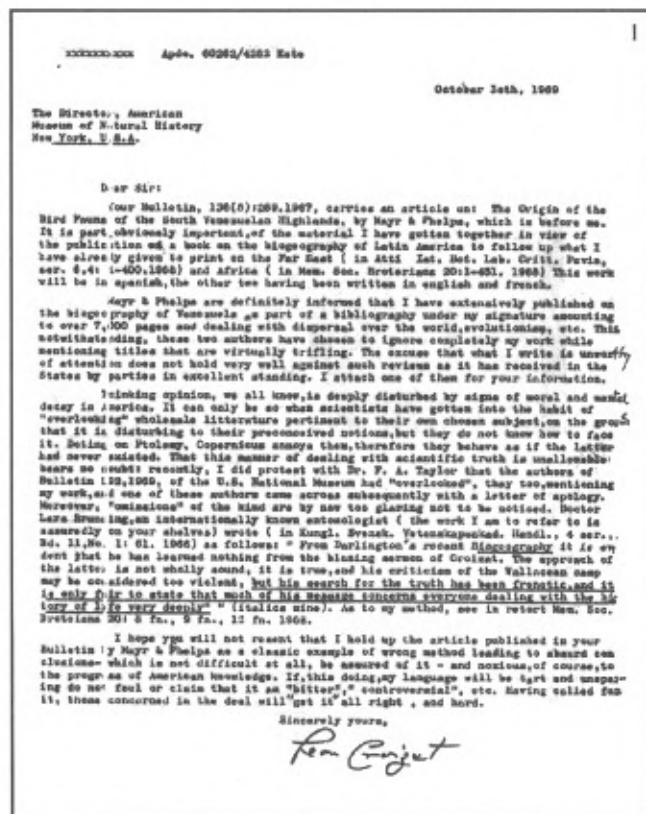


Figura 12. Carta que envió Croizat al director del American Museum of Natural History protestando por la calidad científica del trabajo de Ernst Mayr y William Phelps, Jr. (cortesía de Yolanda Texera, archivos de la Colección Omitológica Phelps).

McKenna y Rosen propusieron que Croizat fuera hecho miembro correspondiente del mismo. Varios de los miembros del Museo se opusieron del modo más vehemente; uno de ellos le escribió al presidente del Consejo del Museo para objetar la candidatura de Croizat, expresando que Croizat era "una de las parodias más estrambóticas de un científico de este o cualquier otro tiempo" (Hull, 1988: 308). La razón principal del rechazo era una carta que Croizat había dirigido al director del Museo unos años antes, deplorando la calidad de un trabajo publicado en el *Bulletin* del mismo; este trabajo (Mayr & Phelps, 1967), se refería a las aves de los tepuyes de Venezuela y no incluía a Croizat en sus referencias (Platnick & Nelson, 1988) (Fig. 12).

Unos años más tarde, en mayo de 1979, el Grupo de Discusión del American Museum decidió organizar un simposio sobre biogeografía, como homenaje a Croizat (Platnick & Nelson, 1988). Este evento tuvo gran publicidad, ya que se esperaba que dispersionistas y vica-

riancistas se confrontaran. Por ello, un reportero de la revista *New Yorker* se hizo presente. Luego de entrevistar a varios de los participantes, éste escribió una nota, donde se aseguraba que la biogeografía de la vicarianza se habría originado a partir de un 'botánico aficionado, venezolano y adinerado'. Al leer esto, Croizat se enfureció y escribió una carta a la revista pidiendo una rectificación. Más tarde, cuando Virginia Ferris publicó en *Systematic Zoology* un comentario acerca del simposio (Ferris, 1980), observó que el trabajo de Croizat fue leído cerca del final del evento y que si hubiera sido leído antes, quizás muchas de las discusiones habrían tomado otro cariz. Al leer esto, Croizat se enfureció aún más. Para él resultaba obvio que existía una conspiración de Nelson, Rosen y Platnick para confundir su panbiogeografía con la biogeografía de la vicarianza que ellos propugnaban. Rosen, Nelson, Platnick y Ferris le escribieron a Croizat para disculparse, pero él continuó distanciado (Hull, 1988).

La aparición del libro de Nelson & Platnick (1981) habría de ser el punto culminante en la disputa. Según estos autores, ellos habrían 'sintetizado' las ideas Croizat con las de Hennig y Popper. La asociación con la sistemática filogenética de Hennig era algo que a Croizat le resultaba intolerable, ya que poco tiempo antes había denunciado a Hennig por considerar que éste había plagiado las ideas de Daniele Rosa (Croizat, 1978). En una de sus últimas contribuciones (Croizat, 1982) habría de referirse a sus diferencias con los vicariancistas de Nueva York: "Bajo el inadecuado nombre de 'biogeografía de la vicarianza' se confunden hoy en día dos ramas muy diferentes del pensamiento y la praxis, que son la *Panbiogeografía* de Léon Croizat y la '*Biogeografía de la Vicarianza*', que tiene por principal autor y promotor a Gareth Nelson... La *Panbiogeografía* (1952-1982) de Croizat es un método, la *Biogeografía de la Vicarianza* de Nelson una teoría. La primera básicamente consiste en un modo de investigación totalmente empírico y estadístico de los registros vivientes y fósiles de la distribución geográfica de plantas y animales, dirigido a establecer las coordenadas de tiempo y espacio presentes en la evolución orgánica..." (Croizat, 1982: 299-300) (itálicas en el original).

El grupo del American Museum asoció el concepto de trazo de Croizat con el método de la sistemática filogenética de W. Hennig (1950, 1966), creando la biogeografía cladística o de la vicarianza (Nelson, 1969, 1973, 1974, 1978, 1983; Rosen, 1976, 1978; Platnick & Nelson, 1978; Nelson & Platnick, 1981). La biogeografía cladística asume una correspondencia entre relaciones

taxonómicas y relaciones entre áreas. Si se comparan los cladogramas de áreas derivados de los cladogramas taxonómicos de diferentes grupos de plantas y animales de una cierta región, se reconoce el patrón general de fragmentación de las áreas involucradas (Morrone & Crisci, 1995).

El *opus magnum* de la biogeografía cladística es *Systematics and biogeography/Cladistics and vicariance* (Nelson & Platnick, 1981), en cuyo prólogo sus autores señalan: "Los puntos de vista presentados en este volumen se basan en el trabajo de dos biólogos, el fallecido Willi Hennig, autor de un libro de 1966 llamado *Phylogenetic Systematics*, y Léon Croizat, autor de un libro de 1964 llamado *Space, time, form: The biological synthesis*, y en los escritos de un filósofo de las ciencias, Sir Karl Popper. Hennig y Croizat no encontraron sus trabajos particularmente compatibles (Hennig nunca citó a Croizat, y Croizat publicó comentarios negativos acerca de Hennig), y ninguno de los dos indicó interés alguno en los puntos de vista de Popper o los citó como especialmente compatibles con los suyos. Sin embargo, Hennig y Croizat han hecho contribuciones sustanciales (y sustancialmente similares) al (1) señalar las insuficiencias mayores de algunos métodos convencionales de la sistemática y la biogeografía, respectivamente, y (2) sugerir métodos significativamente mejorados para esos campos. Nosotros creemos que las contribuciones de Hennig y Croizat pueden ser fácilmente (y fructíferamente) entendidas en el contexto de los puntos de vista de Popper acerca de la naturaleza y crecimiento del conocimiento científico, y que las ideas de estos tres hombres son ampliamente compatibles." (Nelson y Platnick, 1981: ix) (itálicas en el original). Un esquema de discusión epistemológica expuesto por Vuilleumier (1999: 93-94) considera argumentos semejantes, aunque con otros propósitos.

De acuerdo con interpretaciones más recientes (Llorente & Espinosa, 1991; Espinosa & Llorente, 1993; Colacino, 1997; Morrone, 2000), una de las diferencias más importantes entre ambos enfoques radica en la relación entre espacio y forma. En la panbiogeografía, se asume axiomáticamente que "vida y tierra evolucionan juntas", es decir que la vicarianza es el proceso fundamental que conduce a la evolución de la forma. En la biogeografía cladística, por el contrario, esta relación se invierte, y son las hipótesis sobre la forma (expresadas mediante cladogramas) las que preceden a los planteamientos sobre el espacio (Nelson & Platnick, 1981). El análisis de Craw & Weston (1984) muestra que la panbiogeografía y la biogeografía cladística son dos programas de investigación (en el sentido de Imre Lakatos) progresivos y diferentes.



Muy poca discusión y contribuciones originales se han seguido en la Panbiogeografía desde los Estados Unidos, donde más bien ha tomado dominancia la Biogeografía de la Vicarianza, cuya teoría y métodos han preponderado en las contribuciones analíticas en biogeografía histórica. Diversas revistas y libros guardan testimonio de esta afirmación, excepción hecha de las contribuciones de neozelandeses y latinoamericanos. No obstante, parece haber una nueva corriente que busca trascender las viejas discusiones en aras de un nuevo status ontológico y epistemológico (Andersson, 1996; Stott, 1998; Vuilleumier, 1999); aunque tal corriente soslaya la gran contribución de Croizat, como otros la valoran (Morrone, 2000; Llorente *et al.*, 2000; Nelson & Ladiges, en prensa).

*Nueva Zelanda.* A partir de finales de la década de 1970, varios biólogos neozelandeses retomaron las ideas originales de Croizat (Craw, 1979, 1984a, 1985; Craw & Gibbs, 1984; Heads, 1986; Craw & Sermonti, 1988; Grehan, 1988, 1989; Craw *et al.*, 1999). No habría de pasar mucho tiempo para que los partidarios de la panbiogeografía y los de la biogeografía cladística iniciaran un amplio debate acerca de los valores relativos de ambos enfoques (Craw, 1982, 1983, 1988a, b; Craw & Weston, 1984; Seberg, 1986; Page, 1987; Craw & Page, 1988; Platnick & Nelson, 1988; Humphries & Seberg, 1989).

La evolución de la recepción de las ideas de Croizat en Nueva Zelanda puede seguirse principalmente a lo largo de cuatro obras (Craw & Gibbs, 1984; Craw & Sermonti, 1988; *New Zealand Journal of Zoology-Panbiogeography Special Issue*, 1989; Craw *et al.*, 1999).

En 1984, Craw & Gibbs editaron un volumen especial de la revista *Tuatara*, dedicado a analizar la influencia de dos obras de Croizat, *Panbiogeography* y *Principia Botanica*, en la biogeografía y la sistemática botánica, respectivamente. Además de las contribuciones de Craw, Grehan & Heads, esta obra incluyó una contribución de Croizat (Croizat, 1984a), enviada a la revista poco antes de morir, y una traducción al inglés de un trabajo del mismo autor (Croizat, 1984b), originalmente publicado en español (Croizat, 1977). En su conjunto, la obra proporciona valiosos datos biográficos de Croizat; comentarios sobre panbiogeografía, ortogénesis y darwinismo; y una bibliografía de la obra de Croizat.

La obra de 1988, coeditada por Sermonti & Craw, fue publicada en la *Rivista di Biologia-Biology Forum*. Las contribuciones de Craw, Grehan & Heads trataron algunos aspectos teóricos, mientras que los trabajos de Climo y Chiba constituyen aplicaciones empíricas a moluscos y lepidópteros, respectivamente.

El número especial del *New Zealand Journal of Zoology* (1989) resultó más ambicioso que las dos obras anteriores. Integró diversas contribuciones teóricas y aplicadas, así como contribuciones dedicadas a aspectos tectónicos y a la aplicación de la panbiogeografía a la conservación de la biodiversidad (Morrone, 1992a).

El libro de Craw *et al.* (1999) representa la madurez de las ideas de los panbiogeógrafos neozelandeses, por lo que merece un análisis detallado (Morrone & Llorente, 2000). En el capítulo inicial, los autores caracterizan a la panbiogeografía y describen la relación entre dispersión, vicarianza, medios de dispersión y distribución geográfica, además de sintetizar los principales conceptos panbiogeográficos (trazos individuales y generalizados, nodos, centros de masa y líneas de base). En el segundo capítulo exploran la relación entre panbiogeografía y ciencias de la Tierra, a través de varios ejemplos que muestran que los patrones biogeográficos globales y regionales tendrían un origen mesozoico y terciario temprano, más que pleistocénicos, como se sugiere con frecuencia. El siguiente capítulo constituye una síntesis preliminar de la historia y la ecología del continente africano mediante un enfoque panbiogeográfico, destacando que la dicotomía ecología/historia impide integrar apropiadamente los complejos patrones de distribución geográfica y que la panbiogeografía permitiría comprender la relación entre las mismas. El capítulo cuarto se refiere a la relevancia de la evidencia geográfica para interpretar procesos evolutivos y relaciones filogenéticas de especies y taxones superiores, siendo la idea básica. El capítulo cinco es metodológico y describe los principales caminos existentes para llevar a cabo un análisis panbiogeográfico. El sexto capítulo se refiere a la biogeografía regional, mostrando cómo la aproximación panbiogeográfica a través de la homología espacial y las líneas de base en ocasiones señala que unidades biogeográficas conocidas pueden no ser naturales, es decir no compartir una misma historia evolutiva (filogenia biótica-espacial). El último capítulo se refiere a la aplicación de la metodología panbiogeográfica a la selección de áreas prioritarias para la bioconservación.

*América Latina.* Las condiciones en las que llegó Croizat a Venezuela en 1947 pueden considerarse ventajosas. Su mentor, el botánico suizo Henri Pittier se había establecido definitivamente en Venezuela desde 1920 y, cuando invitó a Croizat, se encontraba en una posición respetable como director del Servicio Botánico nacional y bastante bien relacionado a nivel gubernamental, especialmente con el ministro de Agricultura y Cría. Llegar respaldado por la anuencia de quien fue uno de los hombres de ciencia más reverenciado en Venezuela fue venta-



joso, y así sus credenciales académicas recibieron el debido respeto de la comunidad científica venezolana. Su relación personal con quienes le rodearon osciló, dependiendo de la persona, entre excelente y mala, principalmente porque Croizat no toleraba la mediocridad profesional, la cual puede ser inevitable en los ambientes ministeriales. No obstante durante el poco tiempo que pasó al lado de Pittier y sus discípulos y en el Servicio Botánico, parece haber entablado interacciones cordiales con algunos académicos prominentes, incluyendo al erudito botánico y folklorista Francisco Tamayo, quien parece ser la única persona con quien Croizat llegó a co-autorear un artículo (ver referencias en **Heads & Crow**, 1984).

De 1947 a 1951 la obra escrita de León Croizat se vio disminuida notablemente en comparación con lo que había hecho en la década anterior, quizá su productividad se vio afectada por la transición que significó adaptarse a nuevas costumbres y condiciones de trabajo bastante distintas a las que pudo haber tenido en Harvard, aunque es posible que ya estuviera invirtiendo parte de su tiempo en las enormes obras posteriores.

No deja de ser curioso la escasa consideración que recibiría por parte de sus colegas botánicos venezolanos la publicación de las obras de biogeografía y evolución que Croizat legó a partir de 1958. La biología venezolana, en general, se encontraba todavía en un período descriptivo y es posible que, en ese momento, fueran pocos los científicos preparados para asimilar el impresionante cúmulo de datos, la enorme carga analítica y filosófica, y el carácter subversivo del lenguaje croizadiano. Se ha dicho antes, que la expedición al Orinoco marcó para siempre el rumbo de la vida del biogeógrafo. Fue a la fecha de su regreso que Croizat abandonó por propia voluntad todo compromiso docente y, en efecto, laboral. Casi a los sesenta años, la unión con Catalina representaba la liberación de todas las incómodas obligaciones que por años mantuvieron a raya la pluma del genio, pero a su vez ocasionó el desprendimiento paulatino de la pequeña sociedad científica local y, poco a poco, delineó un aislamiento físico autoimpuesto para el logro de los objetivos trazados. Croizat jamás salía a la calle cuando escribía, y esto podía significar semanas.

Su gran amigo, el arqueólogo José María Cruxent, inmigrante catalán, que como aquel llegó a Venezuela para convertirse en el padre de una ciencia nacional, se constituyó, sin querer, en el primer científico local que entendió y aprobó abiertamente la *Panbiogeografía*, y así, apenas circularon los volúmenes de Croizat, se apresuró a relacionar su contenido con el campo del conocimiento que dominaba (**Cruxent**, 1959). Cruxent dirigía el Museo de Cien-

cias Naturales de Caracas en 1951, cuando junto con Croizat fue enviado al Orinoco. Posteriormente, su pasión profesional por coincidencia lo llevó a radicarse cerca de un enorme yacimiento arqueológico y paleontológico en el caserío de Taratara, a corta distancia de Coro, de manera que Croizat disfrutó su presencia y amistad hasta la fecha de su deceso; poco antes, en 1981 se había publicado otra nota de **Cruxent** sobre el tema panbiogeográfico.

En su época, Croizat indudablemente fue leído en el país, en particular por intelectuales como Cruxent y Pascual Venegas Filardo, así como los académicos que lo postularon, en 1972, como miembro correspondiente de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, en Caracas (ver **Carrillo & González**, 1999), entre ellos William H. Phelps, hijo, cuya amistad con Croizat quedó bastante maltrecha después de una discusión por su criticada cooperación con Ernst Mayr. El botánico norteamericano Julian Steyermark, radicado por muchos años en Venezuela y en donde hizo excelente carrera, estuvo completamente familiarizado con la obra de León Croizat, tanto en materia de sistemática, como en biogeografía y últimamente en lo concerniente al Jardín Botánico de Coro.

En la ciudad de Coro, donde los Croizat se rodearon de un círculo de amigos intelectuales, también se conoció -al menos en lo esencial y entre algunos biólogos- el significado de las ideas panbiogeográficas; sin embargo, jamás se creó una escuela de seguidores antes de 1982. La Universidad Nacional Experimental 'Francisco de Miranda' (UNEFM), aun cuando impuso la categoría de Profesor Honorario a Croizat en 1981, no pudo aspirar a tenerlo impartiendo cátedra en sus aulas, debido a su avanzada edad.

Los antecedentes de la enseñanza de la biogeografía en las universidades venezolanas pueden fijarse a finales de los años sesenta, cuando el profesor Janis Racenis creó la cátedra de zoogeografía en la Escuela de Biología de la Universidad Central de Venezuela (UCV); sin embargo, no existen indicios de que en sus cursos se divulgaran las ideas de Croizat. En este período la asignatura también fue dictada por el Doctor Eduardo Rapoport durante un semestre en 1969, quien no tenía una opinión positiva de Croizat. En 1971 Racenis concluyó el primer ciclo de la enseñanza de la zoogeografía en Venezuela. Croizat se mantuvo desvinculado de la enseñanza formal desde 1953, por lo cual no tuvo discípulos directos en el país.

Durante el Octavo Congreso Latinoamericano de Zoología, organizado por el Dr. Pedro Salinas en la ciudad de Mérida, en octubre de 1980, algunos participantes escucharon la participación de Croizat, quien fue invitado a

presentar una conferencia; su ponencia fue "la biogeografía desde mi punto de vista" (Croizat, 1982), se presentó en el simposio sobre "Zoogeografía de los vertebrados neotropicales" coordinado por el Dr. Jaime Pefaur, que se publicó en el tomo I de las Actas del Congreso.

De 1987 a 1992 se reactivó la enseñanza de la zoogeografía, cuando la cátedra comenzó a ser regentada por uno de nosotros (R. P.-H.) y por primera vez se introdujo, como uno de los temas del programa, el estudio y discusión de la panbiogeografía. En consonancia con el ideal de Croizat, quien concebía la biogeografía como un todo sin discriminación entre plantas y animales, la cátedra cambió su nombre de zoogeografía a biogeografía en 1992, y así se ha conservado hasta el presente como una materia electiva del programa de la licenciatura en Biología que ofrece la UCV. Como parte de las labores de esta cátedra se tradujo al español el artículo *La 'panbiogeographia' in breve* (Croizat, 1973), el cual es leído y discutido por el profesor y los estudiantes como representación sinóptica de la extensa obra de su autor.

Otras cátedras similares se dictan en la Escuela de Geografía de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes en Mérida (a cargo del Dr. Enrique LaMarca, desde 1987) y, recientemente, en el posgrado integrado nacional en Ecología, dictada por el Dr. Gilberto Rodríguez. Este último diseñó su curso en el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas en 1987, inspirado en las lecturas de la *Panbiogeography*. Curso que hoy en día cuenta con uno de los programas de estudio más completos de Latinoamérica, incluyendo, por supuesto, el método panbiogeográfico.

El 12 de junio de 1989 los profesores R. Pérez-Hernández y Miriam Díaz ofrecieron en Coro las primeras conferencias divulgativas sobre la vida y obra de León Croizat, durante unas Jornadas de Investigación de la Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", donde paradójicamente se había difundido muy poco sobre el tema.

Testigo del respeto guardado a León Croizat en el país fueron los obituarios escritos por Salazar Léidenz (1982), Venegas Filardo (1982a,b) y Steyermark (1983a,b), así como los diversos reconocimientos a su labor y a la de su esposa Catalina en el Jardín Botánico Xerófito 'Dr. León Croizat' en la ciudad de Coro (p. ej., Hoyos, 1999). En los últimos años de la vida de Catalina Croizat el Fondo Editorial Museo de Arte Contemporáneo 'Sofía Imber' patrocinó la publicación de un manual divulgativo de horticultura de cactáceas, el cual resume de manera amena la experiencia de toda una vida (C. Croizat, 1994).

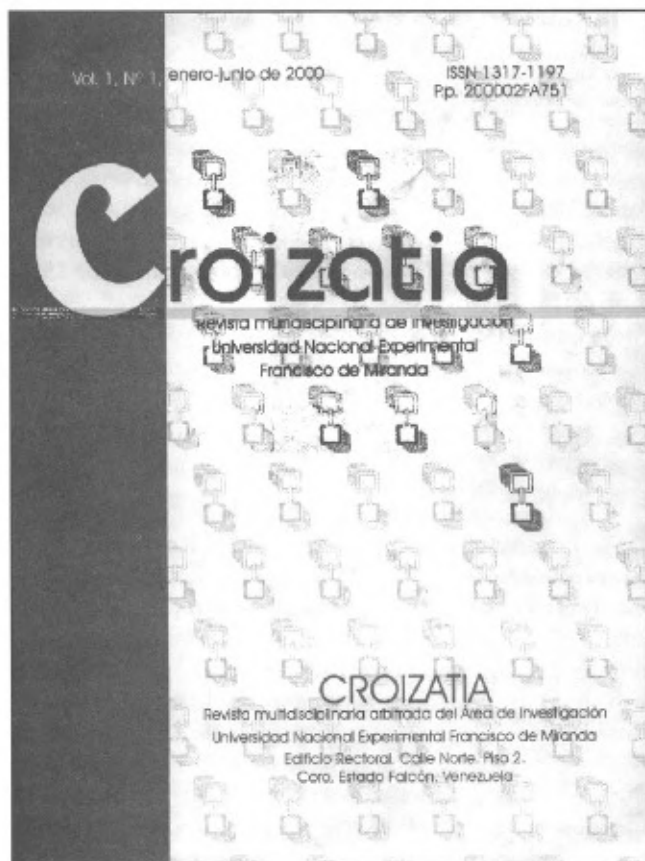


Figura 13. Portada del primer número de la revista *Croizatia*, publicada en Coro a principios del presente año (2000).

En 1999 se elaboró un proyecto para la creación del Centro de Estudios Biogeográficos León Croizat (Díaz & Gómez, 1999, 2000), que de crearse se adscribiría a la UNEFM y contaría con el legado material de la biblioteca del científico italo-americano, la cual fue donada oficialmente a dicha institución por gestión de Catalina Croizat. El homenaje más reciente a la memoria de Croizat quedó materializado en la edición del primer número de la revista científica multidisciplinaria *Croizatia* (Fig. 13), de la universidad 'Francisco de Miranda', bajo la dirección editorial de la profesora Blanca De Lima.

En el resto de América Latina, el interés primario hacia la panbiogeografía deriva principalmente de la lectura de las contribuciones de los autores neozelandeses más que de la lectura directa de la obra de Croizat, tal vez a excepción de su *Space, Time, Form,...* y su *Biogeografía Analítica y Sintética de las Américas* que se analizaron, en parte, en algunos cursos de 'Biogeografía Avanzada' y 'Biogeografía de Mesoamérica' del posgrado de la Facul-

tad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México, impartidos de 1986 a 1995, por varios de los autores de este trabajo (J L I, A B y D E). En la Argentina, Morrone y diversos colaboradores discutieron las ideas panbiogeográficas y las aplicaron a la resolución de varios problemas biogeográficos (Morrone & Crisci, 1990, 1992; Morrone, 1991, 1992a, b, 1993a, b, 1994a, b, 1996, 1999; Morrone & Lopretto, 1994; Coscarón & Morrone, 1995; Fortino & Morrone, 1997; Posadas *et al.*, 1997; Lopretto & Morrone, 1998; Katinas *et al.*, 1999; Morrone & Pereira, 1999; Menu-Marque *et al.*, 2000). En Colombia, igualmente se aplicó el método panbiogeográfico en un estudio de la Serranía del Chiribiquete (Cortés & Franco, 1997) y otro en *Cecropia* de Franco & Bevy (1997).

En México, Llorente (1991), Llorente & Espinosa (1991), Espinosa & Llorente (1993), Reynoso (1994), Morrone *et al.* (1996), Morrone & Espinosa (1998), Contreras *et al.*, (1999) y Espinosa *et al.*, (remitido) han analizado las ideas panbiogeográficas y las han comparado con las de la biogeografía cladística, así también en esos trabajos se han contrastado los fundamentos ontológicos y epistemológicos de los enfoques postmodernos en biogeografía histórica. Además han producido textos y artículos revisionales que incluyen tales tópicos y han resaltado la importancia de los atlas biogeográficos (con bases panbiogeográficas) en la bioconservación, así como la aplicación del método panbiogeográfico en el análisis distribucional de algunas gimnospermas (Morrone, remitido).

Finalmente, Morrone (2000) y Llorente *et al.* (2000) han trazado algunos esbozos históricos de la panbiogeografía y su contexto contemporáneo. En varias instituciones educativas de México, la panbiogeografía es un componente importante en las asignaturas biogeográficas de pregrado y posgrado.

### Especies biológicas dedicadas a Croizat

Entre los reconocimientos que se hacen a un autor botánico a menudo están los patronímicos, a continuación se enumeran los de Croizat:

Plantas: género *Croizatia* (*C. brevipetiolata* (Secco) Dorr; *C. naiguatensis* Steyermark; *C. neotropica* Steyermark (especie tipo); *C. panamensis* Webster (ver Webster *et al.*, 1987; Burger & Huft, 1995 y Dorr, 1999); *Croton croizatii* Steyermark; *Euphorbia croizatii* (Hurusawa) Kitagawa; *Galarhoeus croizatii* Hurusawa; *Hieronyma croizatii* Steyermark; *Kelleria croizatii* M. J. Heads; *Ouratea croizatii* B. Maguire y J. Steyermark;

*Persea croizatii* H. van der Werff; *Phyllanthus croizatii* Steyermark; *Pseudobombax croizatii* A. Robyns; *Seneferdleropsis croizatii* Steyermark in R. E. Schult. y *Tilia croizatii* Chun y Wong (ver The Plant Name Project, 1999). Animales: una especie de mariposa venezolana dedicada a Léon y Catalina Croizat *Pedaliodes croizatorum* (Viloria & Camacho, 1999).

### Una disgresión final

.... puede existir otra fuerza que no se origine dentro del punto, sino fuera. Esta tensión se lanza sobre él, que asido al plano se ve arrancado y desplazado en otra dirección, así, queda inmediatamente aniquilada la tensión concéntrica del punto, y por lo tanto, éste deja de existir. Entonces, surge un nuevo ente con vida autónoma y leyes propias. Es la línea.

*Punto y línea sobre el plano.* Wassily Kandinsky, 1923

Sermonti (1988) señaló la existencia de 'florecimientos' simultáneos en lugares distantes e incommunicados en la historia de la humanidad: las construcciones megalíticas, los instrumentos musicales y algunos mitos. Igual ocurre con las plantas de bambú, que florecen al mismo tiempo después de largos periodos en diferentes lugares, independientemente de las condiciones del entorno. Ese sorprendente florecimiento sincrónico se ha explicado de diferentes maneras, que parten de asumir como genuina la sincronía de eventos independientes. Sin embargo, siempre existe el riesgo que estas interpretaciones sean desplazadas por un escepticismo que se deleita en descubrir en estas relaciones mecánicas un mero artilugio. Esta última interpretación, que niega la simultaneidad, es la predominante, no porque se haya establecido científicamente, sino porque se basa en un modelo generalizado en la cultura global, la cual está interconectada por una red de comunicaciones y sistemas de transporte, donde cualquier idea o instrumento dominante se difunde del centro a la periferia y se vuelve universal. La panbiogeografía, en contraposición con esta idea, afirma que hay un desarrollo sincrónico y paralelo entre especies relacionadas que, aunque separadas, habitan regiones distantes y que no tienen comunicación entre sí. Ello se opone al modelo darwiniano de origen puntual de las especies y su dispersión a regiones remotas. La sociedad global favorece la preferencia intelectual por el mecanismo 'centro de origen-dispersión' sobre el modelo de la filogénesis sincrónica. Sin embargo, recientes estudios historiográficos y filogenéticos hacen que valga la pena analizar esta alternativa. El principio del desarrollo sincrónico de las especies, afirmado por Daniele Rosa y Léon Croizat, es una premisa de la concepción estructuralista dinámica y un

corolario obligado del paradigma generativo, si se parte de suponer una evolución promovida por fuerzas internas y de leyes generales de desarrollo, que permiten una tendencia común fundamental en el desarrollo de especies relacionadas que no requiere un intercambio reciente de información genética (Sermonti, 1988).

La síntesis de Darwin (1859) hizo énfasis en la concepción de los organismos como entidades que existen independientemente del espacio y el tiempo. Las distribuciones evolucionan mediante los movimientos físicos de los organismos (migración) a través de contenedores de espacio-tiempo separados. Los organismos son tratados como náufragos que migran al azar sobre la superficie terrestre. En el sistema de Wallace (1876) esos contenedores espacio-temporales estaban representados por la geografía actual y las relaciones entre los contenedores (regiones biogeográficas) estaban definidas por presuntas barreras geográficas (climáticas o topográficas) que obstaculizaban la migración. La síntesis panbiogeográfica proporciona una estructura alternativa en la que el espacio y el tiempo se conciben como componentes co-recíprocos de la evolución, junto con la forma, que es la manifestación física de los organismos. A medida que las distribuciones evolucionan sobre un amplio frente, surgen nuevas relaciones espacio-temporales conjuntamente con la diferenciación de los distintos taxones. En este contexto, en la evolución de la distribución coexisten espacio, tiempo y forma como componentes recíprocos de un solo proceso. En vez de concebir a los organismos como entidades independientes del espacio y tiempo, su existencia es contingente sobre las relaciones espacio-temporales sobre las que ha evolucionado. Así, el espacio y el tiempo no existen fuera de la evolución de la forma, y los taxones naturales son entidades históricas, con límites contingentes en espacio y tiempo, más que meras abstracciones o clases.

La fusión del espacio y tiempo con la forma evita la necesidad de tratar a organismos y ambiente como entidades separadas. La separación absoluta entre organismos y ambiente en la investigación evolutiva se refleja en la búsqueda de mecanismos que actúen como una fuerza independiente, ya sea sobre los organismos pasivos (como la selección natural) o sobre los ambientes pasivos (como la ortogénesis). Como entidades limitadas espacio-temporalmente, los taxones existen como parte de su ambiente y a su vez existen específicamente en relación con los organismos que los constituyen. Organismos y ambientes están co-construidos y sus interrelaciones no existen antes, sino que son construidas cada generación durante la ontogenia de los organismos. Por lo tanto, las

características de los organismos y su evolución pueden verse como el producto tanto de los organismos como los ambientes. Gray (1987) describió este proceso como 'una construcción limitada recíprocamente' donde no son los organismos los que se desarrollan ni las poblaciones las que evolucionan, sino las relaciones organismo-ambiente y población-ambiente.

El enfoque panbiogeográfico asume que espacio, tiempo y forma son interrelaciones recíprocamente contingentes entre organismos y ambiente, proporcionando un nuevo fundamento conceptual para el desarrollo de una amplia síntesis biológica, mediante la integración de la biogeografía (estudio del espacio en el tiempo), la ecología (estudio de la forma en el espacio) y la epigenética (el desarrollo de la forma en el tiempo). Cada ciencia se mantiene independiente con sus propios métodos y principios, aunque interactúa con las otras para generar niveles más altos de conocimiento a través de iluminaciones recíprocas en las relaciones entre espacio, tiempo y forma.

### Agradecimientos

Los autores agradecemos la cooperación desinteresada y el suministro de información de Yolanda Texera, Jafet Nassar, Mario Zunino, Gilberto Rodríguez, Enrique LaMarca, Jesús Hoyos, Catalina Croizat (†), Beatriz Rivera, Axel Stein y Deborah Whyte. Igualmente las traducciones del italiano realizadas por Roberta Bodini y Gian Carlo Marcanti, así como la invitación del Dr. Santiago Díaz Piedrahita, para escribir este trabajo. Los proyectos de CONACyT 32002 y DGAPA-UNAM fueron de apoyo para la elaboración del mismo. El Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia apoyó en la conclusión de la presente contribución. Varias versiones de este manuscrito fueron corregidas y formadas por Jimena Castro a quien le agradecemos.

### Referencias

- Andersson, L. 1996. An ontological dilemma: epistemology and methodology of historical biogeography. *Jour. Biogeogr.*, 23: 269-277.
- Anduze, P. J. 1960. *Shailili-ko. Relato de un naturalista que también llegó a las fuentes del Orinoco*. Talleres Gráficos Ilustraciones, Caracas.
- Bueno, A. A. & J. Llorente. 1991. El centro de origen en la biogeografía: historia de un concepto. pp. 1-33. En: J. Llorente (ed.): *Historia de la biogeografía: centros de origen y vicarianza*. Ciencias, Servicios Editoriales, UNAM. México.
- Bueno, A. A., J. J. Morrone, M. de las M. Luna-Reyes & C. Pérez-Malvárez. 1999. Raíces históricas del concepto de centro de

- origen en la biogeografía dispersionista: Del Edén Bíblico al modelo de Darwin-Wallace. *Sci. Techn. Persp.*, 3(1): 27-45.
- Burger, W. & H. Huft.** 1995. Family -133 Euphorbiaceae. *Fieldiana, Bot., n. s.*, 36: 1-169.
- Cain, S. A.** 1944. *Foundations of plant geography*. Haper and Brothers, New York.
- Carrillo, J. M. & M. E. González (comp.).** 1999. *Prontuario de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, vol. 32, Cromotip, Caracas.
- Colacino, C.** 1997. Léon Croizat's biogeography and macroevolution, or ... "out of nothing, nothing comes". *Philipp. Scient.*, 34: 73-88.
- Contreras, R., I. Luna & J. J. Morrone.** 1999. Biogeographic analysis of the genera of Cycadales and Coniferales (Gymnospermae): A panbiogeographic approach. *Biogeographica*, 75(4): 163-176.
- Corner, E. J. H.** 1959 "Panbiogeography". *New Phytol.*, 58: 237-238.
- Cortés B., R. & P. Franco R.** 1997. Análisis panbiogeográfico de la flora de Chiribiquete, Colombia. *Caldasia*, 19(3): 465-478.
- Coscarón, M. del C. & J. J. Morrone.** 1995. Systematics, cladistics, and biogeography of the *Peirates collarti* and *P. lepturoides* species groups (Heteroptera: Reduviidae, Peiratinae). *Ent. Scand.*, 26: 191-228.
- Craw, R. C.** 1979. Generalized tracks and dispersal in biogeography: A response to R. M. McDowall. *Syst. Zool.*, 28: 99-107.
- . 1982. Phylogenetics, areas, geology and the biogeography of Croizat: A radical view. *Syst. Zool.*, 31: 304-316.
- . 1983. Panbiogeography and vicariance cladistics: Are they truly different? *Syst. Zool.*, 32: 431-438.
- . 1984a. Léon Croizat's biogeographic work: A personal appreciation. *Tuatara*, 27: 8-13.
- . 1984b. Never a serious scientist: The life of Léon Croizat. *Tuatara*, 27: 5-7.
- . 1984c. Charles Darwin on "Laws of Growth". *Tuatara*, 27(1): 19-20.
- . 1985. Classic problems of southern hemisphere biogeography re-examined: Panbiogeographic analysis of the New Zealand frog *Leiopelma*, the ratite birds and *Nothofagus*. *Z. Zool. Syst. Evolutionsforsch.*, 23: 1-10.
- . 1988. Panbiogeography. pp. 405-435 En: A. Myers y P. Giller (eds.). *Analytical biogeography: an integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman and Hall, London.
- . 1988a. Continuing the synthesis between panbiogeography, phylogenetic systematics and geology as illustrated by empirical studies on the biogeography of New Zealand and the Chatham Islands. *Syst. Zool.*, 37: 291-310.
- . 1988b. Panbiogeography: Method and synthesis in biogeography. In: Myers, A. A. y P. S. Giller (eds.), *Analytical biogeography: An integrated approach to the study of animal and plant distributions*, Chapman & Hall, Londres y Nueva York, pp. 405-435.
- . 1992. Margins of cladistics: Identity, difference and place in the emergence of phylogenetic systematics, 1864-1975. In: Griffiths, P. (ed.), *Trees of life*, Kluwe Academic Publishers, Holanda, pp. 65-107.
- & G. W. Gibbs. 1984. Croizat's Panbiogeography and Principia Botanica: Search for a novel biological synthesis. *Tuatara*, 27: 1-75.
- Craw, R. C., J. R. Grehan & M. J. Heads.** 1999. *Panbiogeography: Tracking the history of life*. Oxford Biogeography series 11, Nueva York y Oxford.
- & M. J. Heads. 1988. Reading Croizat: On the edge of biology. *Riv. Biol., Biol. Forum*, 81: 499-532.
- & P. Weston. 1984. Panbiogeography: A progressive research program? *Syst. Zool.*, 33: 1-13.
- & R. Page. 1988. Panbiogeography: Method and metaphor in the new biogeography. In: Ho, M. -W. y S. W. Fox (eds), *Evolutionary processes and metaphors*, John Wiley and Sons, pp. 163-189.
- Croizat, C.** 1994. *Manual de horticultura ornamental*. Fondo Editorial del Museo de Arte Contemporáneo de Caracas Sofía Imber, Caracas.
- Croizat, L.** 1952. *Manual of phytogeography*. Junk's Gravenhage, La Haya.
- . 1954. La faja xerófila del Estado Mérida. *Universitas Emeritensis (Mérida)*, 1: 100-106.
- . 1958. *Panbiogeography. Vols. 1 y 2*. Publicado por el autor, Caracas.
- . 1961. Entre lo viejo y lo nuevo. *Revista Shell (Caracas)*, 10(41): 29-36.
- . 1961. *Principia botanica or beginnings of botany (with sketches by the author)*. Publicado por el autor, Caracas.
- . 1964. *Space, time, form: The biological synthesis*. Publicado por el autor, Caracas.
- . 1973. La 'panbiogeographia' in breve. *Webbia*, 28: 189-226.
- . 1975. *Relación de las guerras de Anibal y Roma*, 218-202 a. C. Ministerio de Defensa, Caracas.
- . 1976. *Biogeografía analítica y sintética ('panbiogeografía') de las Américas*. Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas.
- . 1977. Carlos Darwin y sus teorías. *Bol. Acad. Cienc. Fis. Mat. Nats.*, (Caracas), 37: 15-90.
- . 1978. Hennig (1966) entre Rosa (1918) y Lovtrup (1977): Medio siglo de sistemática filogenética. *Bol. Acad. Cienc. Fis. Mat. Nat.* (Caracas), 38: 59-147.
- . 1981. *El océano Pacífico en la prehistoria de las Américas*. I. P. Publicaciones, Caracas.
- . 1982. Vicariance/ vicariism, panbiogeography, "vicariance biogeography", etc: A clarification. *Syst. Zool.*, 31: 291-304.

- \_\_\_\_\_. 1983. La biogeografía desde mi punto de vista. *Zoología Neotropical, Actas VIII Cong. Latinoam. Zool. (Caracas)*, 1: 165-175.
- \_\_\_\_\_. 1984a. Mayr vs Croizat: Croizat vs Mayr: An enquiry. In: Craw, R. C. y G. W. Gibbs (eds.), *Croizat's Panbiogeography and Principia Botanica: Search for a novel biological synthesis*, *Tuatara*, 27: 49-66.
- \_\_\_\_\_. 1984b. Charles Darwin and his theories. In: Craw, R. C. y G. W. Gibbs (eds.), *Croizat's Panbiogeography and Principia Botanica: Search for a novel biological synthesis*, *Tuatara*, 27: 21-25.
- Croizat, L., G. Nelson & D. E. Rosen.** 1974. Centers of origin and related concepts. *Syst. Zool.*, 23: 265-287.
- Croizat, V. J.** 1997. *Journey among warriors: The memoirs of a marine*. White Mane Publishing Company, Inc., Shippensburg.
- Cruent, J. M.** 1959. Notas sobre las relaciones entre la antropología y la biogeografía. *Boletín del Museo de Ciencias Naturales (Caracas)*, 4/5(1-4): 185-190.
- \_\_\_\_\_. 1981. La panbiogeografía de León Croizat. *Boletín del Centro de Historia del Estado Falcón, 2da época*, 28(26): 23-27.
- Darwin, C. R.** 1859. *The origin of species*. John Murray, Londres.
- Díaz, M. & R. Gómez.** 1999. *Proyecto Centro de Estudios Biogeográficos León Croizat*. Coro: Decanato de Investigaciones UNEFM [documento interno].
- \_\_\_\_\_. 2000. León Croizat y su aporte a las ciencias biológicas. *Croizatia (Coro)*, 1(1): 7-10.
- Dorr, L. J.** 1999. A new combination in *Croizatia* (Euphorbiaceae). *Sida*, 18(3): 831-836.
- Dupuis, C.** 1979. Permanence et actualité de la Systematique: La 'Systematique phylogénétique' de W. Henning (Historique, discusión, choix de références). *Cahiers des Naturalistes (Bull. Natural Paris)*. (N. S.), 34(1): 1-69.
- Espinosa, D. & J. Llorente.** 1993. *Fundamentos de biogeografías filogenéticas*. Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F.
- Espinosa, D., J. J. Morrone, J. Llorente & O. Flores** (remitido). *Introducción al análisis de los patrones en biogeografía histórica*. UNAM 96 p. + 250 figs.
- Ferris, V. R.** 1980. A science in search of a paradigm? Review of the symposium "Vicariance biogeography: A critique". *Syst. Zool.*, 29: 67-76.
- Fichman, M.** 1977. Wallace zoogeography and the problem of land bridges. *J. Hist. Biol.*, 10(1): 45-63.
- Fortino, A. D. & J. J. Morrone.** 1997. Signos gráficos para la representación de análisis panbiogeográficos. *Biogeographica*, 73(2): 49-56.
- Gmelin, J. F.** 1747. *Flora sibirica*. Volume 1. Academia Scientiarum, St. Petesburg.
- Gray, R. D.** 1987. Beyond labels and binary oppositions: what can be learnt from the nature/nurture dispute? *Riv. Biol.-Biol. Forum*, 80: 192-196.
- Grehan, J. R.** 1988. Panbiogeography: Evolution in space and time. *Riv. Biol., Biol. Forum*, 81: 469-498.
- \_\_\_\_\_. 1989. New Zealand panbiogeography: Past, present, and future. *New Zealand J. Zool.*, 16: 513-525.
- Grelier, J.** 1954. *Aux sources de l'Orenoque*. La Table Ronde, Paris.
- Heads, J.** 1984. Principia Botanica: Croizat's contribution to botany. *Tuatara*, 27: 26-48.
- Heads, M. J.** 1986. A panbiogeographic analysis of Auckland islands archipelago. In: Archibald, R. D. (ed.), *The Lepidoptera, bryophytes, and panbiogeography of Auckland islands*, New Zealand Entomological Society, Dunedin, pp. 30-44.
- Heads, M. & R. C. Craw.** 1984. Bibliography of the scientific work of León Croizat, 1932-1982. In: Craw, R. C. y G. W. Gibbs (eds.), *Croizat's Panbiogeography and Principia Botanica: Search for a novel biological synthesis*, *Tuatara*, 27: 67-75.
- Hennig, W.** 1950. *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik*. Deutscher Zentralverlag, Berlin.
- \_\_\_\_\_. 1966. *Phylogenetic systematics*. University of Illinois Press, Urbana.
- Holst, B. K. & C. A. Todzia.** 1990. León Croizat's plant collections from the Franco-Venezuelan Expedition to the headwaters of the Río Orinoco. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 77(3): 485-516.
- Hovenkamp, P.** 1997. Vicariance events, not areas, should be used in biogeographic analysis. *Cladistics*, 13: 67-79.
- Hoyos, J.** 1999. *El legado de León Croizat y el jardín xerofítico de Coro*. MS.
- Huber, O. & J. Wurdack.** 1984. *History of botanical exploration in Territorio Federal Amazonas, Venezuela*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C.
- Hull, D. L.** 1988. *Science as a process: An evolutionary account of the social and conceptual development of science*. University of Chicago Press, Chicago.
- Humphries, C. J.** 2000. Form, space and time: which comes first?. *Jour. Biogeogr.* 27: 11-15.
- \_\_\_\_\_. & **L. R. Parenti.** 1987. *Cladistic biogeography*. Oxford Monographs in Biogeography. Oxford, Clarendon.
- \_\_\_\_\_. 1999. *Cladistics biogeography: Interpreting patterns of plant and animal distribution*. 2<sup>nd</sup>. Edition. Oxford University Press, Oxford. 187 p.
- Humphries, C. J. y O. Seberg.** 1989. Graphs and generalized tracks: Some comments on method. *Syst. Zool.*, 38: 69-76.
- Jeannel, R.** 1942. *Le génese des faunes terrestres*. Press Universitaires de France, Paris.
- Kandinsky, W.** (1998). *Punto y Línea sobre el plano*. [Punkt und Linie zu Fläche, 1923]. Ediciones Colofón. México. 173 p.
- Katinas, L., J. J. Morrone & J. V. Crisci.** 1999. Track analysis reveals the composite nature of the Andean biota. *Austr. Syst. Bot.*, 47: 111-130.
- Lakatos, I.** 1978. *The methodology of scientific research programmes*. Philosophical papers no. 1. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Lopretto, E. C. & J. J. Morrone.** 1998. Anaspidae, Bathynellacea (Syncarida), generalised tracks, and the biogeographical

- relationships of South America. *Zool. Scripta*, 27(4): 311-318.
- Löve, Á. 1967. A remarkable biological synthesis. *Ecology*, 48(4): 704-705.
- Luzzatto, M., C. Palestini & P. P. D'Entrèves. 2000. Hologenesis: The last and lost theory of evolutionary change. *Ital. J. Zool.* 67: 129-138.
- Llorente B., J. (ed.). 1991. *Historia de la biogeografía: centros de origen y vicarianza*. Servicios Editoriales. Fac. Ciencias. UNAM. México 96 p.
- Llorente B., J. & D. O. Espinosa. 1991. Síntesis de las controversias en la biogeografía histórica contemporánea. *Ciencia*, 42: 295-312.
- \_\_\_\_\_, N. Papavero & A. Bueno. 2000. Síntesis histórica de la biogeografía. *Revta. Acad. Colomb. Cienc.*, 24(91): 255-278.
- Mayr, E. & W. H. Phelps, Jr. 1967. The origin of the bird fauna of the south Venezuelan highlands. *Bull. Amer. Mus. Nat. Hist.*, 136: 269-328.
- Menu-Marque, S., J. J. Morrone & C. Locascio. 2000. Distributional patterns of the South American species of *Boeckella* (Crustacea: Copepoda: Centropagidae): A track analysis. *J. Crust. Biol.*, (en prensa).
- Morrone, J. J. 1991. Estudio sistemático, análisis cladístico y biogeografía del género *Listroderes* Schoenherr, 1826 (Coleoptera: Curculionidae). Disertación Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata, La Plata.
- \_\_\_\_\_. 1992a. De la diversa panbiogeografía. *Physis (Buenos Aires)* C, 47: 54.
- \_\_\_\_\_. 1992b. Revisión sistemática, análisis cladístico y biogeografía histórica de los géneros *Falklandius* Enderlein *Lanteriella* gen. nov. (Coleoptera: Curculionidae). *Acta Entomol. Chil.*, 17: 157-174.
- \_\_\_\_\_. 1993a. Beyond binary oppositions. *Cladistics*, 9: 437-438.
- \_\_\_\_\_. 1993b. Revisión sistemática de un nuevo género de Rhytirrhini (Coleoptera: Curculionidae), con un análisis biogeográfico del dominio Subantártico. *Bol. Soc. Biol. Concepción*, 64: 121-145.
- \_\_\_\_\_. 1994a. Systematics, cladistics, and biogeography of the Andean weevil genera *Macrostypylus*, *Adioristidius*, *Puranius*, and *Amathynetoides*, new genus (Coleoptera: Curculionidae). *Am. Mus. Novit.*, 3104: 1-63.
- \_\_\_\_\_. 1994b. Distributional patterns of species of Rhytirrhini (Coleoptera: Curculionidae) and the historical relationships of the Andean provinces. *Global Ecol. Biogeogr. Lett.*, 4: 188-194.
- \_\_\_\_\_. 1996. Austral biogeography and relict weevil taxa (Coleoptera: Nemonychidae, Belidae, Brentidae, and Caridae). *J. Comp. Biol.*, 1(3-4): 123-127.
- \_\_\_\_\_. 1999. Biodiversidad en el espacio: La importancia de los atlas biogeográficos. *Physis (Buenos Aires)*, C, 55(130-131): 47-48.
- \_\_\_\_\_. 2000. Entre el escarmio y el encomio: León Croizat y la panbiogeografía. *Interciencia*, 5(1): 41-47.
- \_\_\_\_\_. D. Espinosa & J. Llorente. 1996. *Manual de biogeografía histórica*. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Morrone, J. J. & D. Espinosa. 1998. La relevancia de los atlas biogeográficos para la conservación de la biodiversidad mexicana. *Ciencia (México)*, 49(3): 12-16.
- \_\_\_\_\_. & E. C. Lopretto. 1994. Distributional patterns of freshwater Decapoda (Crustacea: Malacostraca) in southern South America: A panbiogeographic approach. *J. Biogeogr.*, 21: 97-109.
- \_\_\_\_\_. & J. Llorente. 2000. El laberinto de la (pan)biogeografía. *Acta Zool. Mex.*, 80: 249-252.
- Morrone, J. J. & J. V. Crisci. 1990. Panbiogeografía: Fundamentos y métodos. *Evol. Biol.* (Bogotá), 4: 119-140.
- \_\_\_\_\_. 1992. Aplicación de métodos filogenéticos y panbiogeográficos en la conservación de la diversidad biológica. *Evol. Biol.* (Bogotá), 6: 53-66.
- \_\_\_\_\_. 1995. Historical biogeography: Introduction to methods. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 26: 373-401.
- Morrone, J. J. & L. A. Pereira. 1999. On the geographical distribution of the Neotropical and Andean species of *Schendylops* (Chilopoda: Geophilomorpha: Schendylidae). *Rev. Soc. Entomol. Argent.*, 58(3-4): 165-171.
- Nelson, G. 1969. The problem of historical biogeography. *Syst. Zool.*, 18: 243-246.
- \_\_\_\_\_. 1973. Comments on León Croizat's biogeography. *Syst. Zool.*, 22: 312-320.
- \_\_\_\_\_. 1974. Historical biogeography: An alternative formalization. *Syst. Zool.*, 23: 555-558.
- \_\_\_\_\_. 1977. Biogeografía analítica y sintética ("Panbiogeografía") de las Américas by L. Croizat (1976). *Syst. Zool.*, 26: 449-452.
- \_\_\_\_\_. 1978. From Candolle to Croizat: Comments on the history of biogeography. *J. Hist. Biol.*, 11: 269-305.
- \_\_\_\_\_. 1983. Vicariance and cladistics: Historical perspectives with implications for the future. In: Sims *et al.* (eds.), *Evolution, time and space: The emergence of the biosphere*, Academic Press, Londres y Nueva York, pp. 469-492.
- Nelson, G. Y P. & Ladiges. (en prensa) Gondwana, Vicariance biogeography, and the New York School revisited.
- Nelson, G. & N. I. Platnick. 1981. *Systematics and biogeography/Cladistics and vicariance*. Columbia University Press, Nueva York.
- Nur, A. & Z. Ben-Avraham. 1980. Lost Pacifica continent: A mobilistic speculation. In: Rosen, D. E. y G. Nelson (eds.), *Vicariance biogeography: A critique*, Columbia University Press, Nueva York, pp. 341-358.
- Page, R. D. M. 1987. Graphs and generalized tracks: Quantifying Croizat's panbiogeography. *Syst. Zool.* 36: 1-17.
- \_\_\_\_\_. 1987. Graphs and generalized tracks: Quantifying Croizat's panbiogeography. *Syst. Zool.*, 36 (1): 1-17.
- Papavero, N., D. M. Teixeira & J. B. Llorente. 1997. *História da biogeografia no período pre-evolutivo*. Ed. Pléiade FAPESP, São Paulo, Brasil. 258 p.

- Pardo, J. L.** 1991. *Sobre los espacios: pintar, escribir, pensar*. Ediciones del Serbal. Colección De los N° 4. Barcelona. 160 p.
- Plant Name Project, The.** 1999. *International Names Index*. Publicado en la Internet; <http://www.ipni.org> [consultado el 10 de octubre de 2000].
- Platnick, N. I. & G. Nelson.** 1978. A method of analysis for historical biogeography. *Syst. Zool.*, 27: 1-16.
- Platnick, N. I. & G. Nelson.** 1988. Spanning-tree biogeography: shortcut, detour, or dead-end? *Syst. Zool.*, 37(4): 410-419.
- Popper, K. R.** 1962. *La lógica del descubrimiento científico*. Tecnós, Madrid.
- Posadas, P. E., J. M. Estévez & J. J. Morrone.** 1997. Distributional patterns and endemism areas of vascular plants in the Andean subregion. *Fontqueria*, 48: 1-10.
- Reynoso, V. H. R.** 1994. Principios y conceptos en los sistemas de clasificación biogeográfica de la Tierra. En *Taxonomía Biológica*. (Eds. J. Llorente e I. Luna) pp. 537-536. Serie Texto Científico Universitario. Fondo de Cultura Económica. México.
- Rosen, D. E.** 1974. *Space, time, form: The biological synthesis*. *Syst. Zool.*, 23: 288-290.
- . 1976. A vicariance model of Caribbean biogeography. *Syst. Zool.*, 24: 431-464.
- . 1978. Vicariant patterns and historical explanation in biogeography. *Syst. Zool.*, 27: 159-188.
- . 1980. Introduction. In: Rosen, D. E. y G. Nelson (eds.), *Vicariance biogeography: A critique*, Columbia University Press, Nueva York, pp. 1-5.
- Salazar Leindenz, M.** 1982. Murió el padre de la biogeografía. *El Nacional* (Caracas), 1-xii-1982.
- Seberg, O.** 1986. A critique of the theory and methods of panbiogeography. *Syst. Zool.*, 35: 369-380.
- Sermonti,** 1988. La Stagione del bambu (editoriale) *Riv. Biol.-Biol. Forum*, 81(4): 457-460.
- Simberloff, D.; K. L. Heck; E. D. McCoy & E. F. Connor.** 1979. There have been no statistical tests of cladistic biogeographical hypotheses. En: Nelson, G. & D. E. Rosen (eds.): *Symposium of the systematics discussion group of the American Museum of Natural History*. Columbia University Press, New York. Pp. 40-63.
- Sober, E.** 1988. The conceptual relationship of cladistic phylogenetics and vicariance biogeography. *Syst. Zool.*, 37: 245-253.
- Steyermark, J. A.** 1983a. Dr. León Croizat-Chaley. *Natura* (Caracas), 74: 34-35.
- . 1983b. Deaths [obituary]. *Taxon*, 32: 530-531.
- Stott, P.** 1998. Biogeography and ecology in crisis: the urgent need for a new metalanguage. *Jour. Biogeog.*, 25:1-2.
- Texera, Y. (Comp.).** 1998. *La modernización difícil. Henri Pittier en Venezuela 1920-1950*. Fundación Polar, Caracas.
- . 1991. *La exploración botánica en Venezuela 1754-1950*. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas.
- Van Steenis, C. G. G. J.** 1934-35. On the origin of the Malaysian mountain flora. *Bull. Jard. Bot. Buitenzorg*, 13: 135-262, 289-417.
- Venegas Filardo, P.** 1982a. León Croizat-Chaley: un enamorado de la flora venezolana. *El Universal* (Caracas). 6-xii-1982.
- . 1982b. León Croizat-Chaley. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales* (Caracas), 42(129-130): 147-148.
- Viloria, A. L. & J. Camacho.** 1999. Three new pronophiline butterflies from the Serranía del Turimiquire, eastern Venezuela, and type designation for *Corades enyo enyo* (Lepidoptera, Nymphalidae). *Fragmenta Entomologica* (Roma), 31(1): 173-188.
- Vuilleumier, E.** 1999. Biogeography on the eve of the twenty-first century: Towards an epistemology of biogeography. *Ostrich*, 70(1): 89-103.
- Wallace, A. R.** 1876. *The geographical distribution of animals, with a study of the relations of living and extinct faunas as elucidating the past changes of the Earth's surface*. Vol. I. Macmillan and Co., Londres, 503 pp.
- Webster, G. L.; L. Gillespie & J. Steyermark.** 1987. Systematics of *Croizatia* (Euphorbiaceae). *Syst. Bot.*, 12(1): 1-8.
- Zunino, M.** 1992. Per rileggere Croizat. *Biogeographia*, 16: 11-23.



# LISTA PRELIMINAR DE ESPECIES DE ANUROS DEL DEPARTAMENTO DEL GUAINÍA, COLOMBIA

por

John D. Lynch<sup>1</sup> & Mario A. Vargas Ramírez<sup>2</sup>

## Resumen

Lynch, J. D. & M. A. Vargas Ramírez. Lista preliminar de especies de anuros del Departamento del Guainía, Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fís. Nat. **24**(93): 579-589, 2000. ISSN 0370-3908.

Herpetológicamente, el Guainía es el departamento menos conocido de Colombia; además, es de interés por su posición geográfica, entre los Llanos y los bosques del Amazonas. Adicionalmente, esta situado en el límite occidental de la región Guyana. Registramos 27 especies de ranas para el departamento (22 de ellas de los alrededores de la comunidad La Ceiba) y seguramente dos más también viven allí (hay registros de una localidad adyacente al Guainía). La fauna consiste en no menos que cuatro bufónidos, 11 hílidos, 11 leptodactílidos, dos microhílidos y un pípedo. En esta contribución, reportamos cuatro especies de anuros para Colombia por primera vez: *Aparasphenodon venezolanus* (primer registro para el género en Colombia), *Hyla ornatissima*, *Leptodactylus longirostris*, y *Osteocephalus oophagus*.

**Palabras clave:** Anuros, Guainía, Inventario, Registros nuevos para el país.

## Abstract

Guainía is the least known herpetologically of the departments of Colombia and is of interest because it lies between the savannah zone (Llanos) and the forests of Amazonia. Additionally, it lies at the western edge of the Guyanan Region. Twenty seven species of frogs are reported for the department (22 of those from the immediate vicinity of the community of La Ceiba) and two others surely occur in the department as well (specimens are available from a town adjacent to Guainía). The fauna consists of no less than four bufonids, 11 hylids, 11 leptodactylids, two microhylids, and one pipid. In this contribution, we report four species from Colombia for the first time: *Aparasphenodon venezolanus* (first record of the genus for Colombia), *Hyla ornatissima*, *Leptodactylus longirostris*, and *Osteocephalus oophagus*.

**Key words:** Frogs, Guainía, Inventory, New country records.

1. Laboratorio de Anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.

2. Biólogo, Universidad Nacional de Colombia.

## Introducción

Guainía es quizás el departamento menos conocido del país en cuanto a su herpetofauna se refiere. Cuando Cochran & Goin (1970) publicaron su libro "Frogs of Colombia", Guainía no era una entidad política separada, sino que formaba parte del departamento del Vaupés. Tres de los registros de Cochran & Goin (1970) del entonces Vaupés, son de localidades dentro o adyacentes a lo que corresponde actualmente al Guainía. Aparte de estos, solo se encuentran dos registros más pertenecientes a dos especies de ranas de la familia Leptodactylidae, por Lynch (1989) y Heyer (1995).

Incidental a los estudios de *Podocnemis erythrocephala* Olga Castaño y dos asistentes colectaron cerca de 20 ranas de siete especies en julio de 1996-marzo de 1997. Una colección más grande de cerca de 200 especímenes de 14 especies, fue hecha por JDL durante la Expedición al Guainía del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia a finales de Marzo de 1998. Durante esta visita el área permaneció seca y la actividad de anfibios baja. En octubre de 1998, MAV retornó a la zona donde capturó 87 especímenes de 15 especies, en esta oportunidad finalizaba la época de lluvias por lo que la actividad de anfibios aunque un poco más alta que en marzo, estaba bastante disminuida. La región queda en el ecotono entre lo que Lynch et al (1997) consideraron las regiones del Orinoco y el triangulo Guayanés, concernientes a la anuro fauna de Colombia. Ninguna de estas regiones ha sido bien estudiada en Colombia. El área alrededor de la comunidad indígena de La Ceiba, donde se realizó la mayor parte de las colecciones, consiste principalmente en bosque de catinga que se inunda estacionalmente, bosques de tierra firme que se encuentran en pequeñas zonas no sometidas a inundación, sabanas, afloramientos graníticos y corrientes de aguas negras.

## Materiales & Métodos

La mayoría de los ejemplares fueron coleccionados por los autores durante dos salidas al Guainía en 1998 y están depositados en la colección de anfibios del ICN. Otros ejemplares fueron examinados por JDL en la colección herpetológica del Instituto Alexander von Humboldt (IAvH, antiguamente la colección de INDERENA) en Villa de Leyva. Las colecciones fueron realizadas en las siguientes localidades, cercanas a la comunidad indígena de La Ceiba: Caño Agujón 3°32'29.4"N, 67°51'39.5"W, Caño Caimán (parte baja) 3°39'16.5"N, 67°57'08.5"W, Caño Caimán (parte alta, también llamada campamento

2) 3°37'20"N, 67°57'07"W, Caño Pajarito 3°36'15.5"N, 67°52'07.9"W, Caño Yucuta 3°33'N, 67°51'W, Laguna Lombriz 3°38'50"N, 67°80'22"W, comunidad La Ceiba 3°37'53.2"N, 67°52'51.1"W, Bosque Caño Seje 3°37'46"N, 57°63'3"W, comunidad de Paloma 03°30'46"N, 67°52'05"W y bosque aledaño al camino a Laguna Rayado 3°3'54.5"N, 67°53'28.6"W.

Otras localidades mencionadas son: Puerto Infrida 3°49'N, 67°52'W, El Remanso 3°28'18"N, 67°57'44"W.

## Relatos de especies

### Bufonidae

#### *Bufo glaberrimus* Günther

Cochran & Goin (1970) reportaron esta especie de Amanavén, boca del Guaviare (actualmente en el departamento de Vichada). No fue encontrada durante el trabajo de campo de 1997-98 y el registro de Cochran & Goin probablemente pertenece a *Bufo guttatus*, abundante en el Parque Nacional Natural Tuparro.

#### *Bufo granulosus* Spix

Cochran & Goin (1970) reportaron esta especie (como *B. granulosus humboldti*) de Amanavén, boca del Guaviare (actualmente en el departamento de Vichada). No fue encontrado durante el trabajo de campo de 1997-98.

#### *Bufo marinus* (Linnaeus)

Caño Caimán (ICN 39027, 40981), Caño Agujón (ICN 40802, renacuajos), La Ceiba (ICN 43562), Caño Yucuta (ICN 43564), Remanso (ICN 43563).

*Bufo marinus* se escucho cantando y se vio casi todas las noches durante la estadía en La Ceiba, tanto en marzo como en octubre de 1998. Las observaciones realizadas son muy peculiares por que la mayor parte de los individuos se observaron en corrientes de agua dentro de bosque. La mayoría de estudiosos de anuros no reconocen a *B. marinus* como especie característica de bosque, sino a una especie asociada con grandes ríos y en especial pueblos y asentamientos humanos en general. En La Ceiba, *B. marinus* se observó (pero no se colectó) a lo largo de bancos de arena del río Infrida, especialmente en los alrededores del puerto. Se colectaron renacuajos en pequeños remansos en caño Agujón y se observaron pero no se colectaron en charcos presentes en afloramientos graníticos cercanos a la comunidad de Remanso.

Dos hembras grandes se encontraron (pero no se colectaron). Se estima que cada hembra podría tener entre 25 y 28 cm de longitud rostro-cloaca y estaban en amplexus con machos de tamaño normal (12-14 cm LRC [longitud rostro-cloacal]).

### *Bufo typhonius* (Linnaeus)

Laguna Rayado (ICN 43569), bosque cercano a Comunidad de Paloma (ICN 43565-66, 43567-68, 43572-74), La Ceiba (ICN 43571, 43578, 43582), caño Pajarito (ICN 43575-76, 43579, 43583-84), caño Yucuta (ICN 43581), caño Agujón (ICN 43577).

Este pequeño sapo con cresta craneal muy modesta, se encontró tanto de día como de noche con baja frecuencia. La noche del 18 de marzo de 1998 un pequeño coro se escuchó cerca de La Ceiba. No se identificó ninguna otra actividad reproductiva durante la estadía de marzo en la zona. Aunque en la visita de octubre de 1998 las únicas actividades reproductivas que se identificaron fueron coros pequeños después de lluvias fuertes, las hembras adultas capturadas presentaron huevos maduros en sus ovarios. Se colectaron tres machos 36.1-39.5 mm y cuatro hembras 41.2-61.4 mm LRC. Esta es una de las especies del llamado complejo *Bufo typhonius* y Vélez (1995) reconoció poblaciones en el oriente Amazónico, Caquetá y Vaupés.

## Hylidae

### *Aparasphenodon venezolanus* (Mertens)

Caño Caimán, parte baja (ICN 40990-95), caño Caimán, campamento 2 (ICN 40216-19, 40996-41020).

Este es el primer registro de la especie para Colombia. Previamente solo se conocía por seis individuos de tres localidades en el suroccidente de Venezuela (Paolillo & Cerda, 1983). En abril de 1996 Pedro Gálvis, encontró en un remanso aledaño a Caño Caimán una gran cantidad de parejas amplexantes (más de 50) y otros individuos, agrupados tanto en el suelo como en pequeños arbustos después de fuerte aguacero (P. Gálvis, com. pers.). En ninguna de las visitas posteriores se identificó esta actividad, posiblemente por que no coincidieron con las épocas de fuertes lluvias.

*Aparasphenodon venezolanus* se encontró en marzo de 1998 solo en las dos primeras noches de estadía, también sugiriendo que su nivel de actividad se relaciona estrechamente con las lluvias. El señor Delio Suárez, capitán de la comunidad indígena de La Ceiba, comentó que esta especie es excepcionalmente abundante en La

Ceiba al inicio de la época de lluvias, pero que en otras épocas no se ve. El 18 de marzo de 1998 se empezó a buscar *A. venezolanus* en un bosque de tierra firme y los dos primeros individuos se observaron antes del anochecer perchados a menos de 0.5 m sobre el suelo del bosque, en troncos de árboles delgados. A las 7:00 PM se identificó un canto (un áspero "brrack, brack"), que duró entre 20-30 segundos y no se volvió a repetir. Esta rana arborea es muy fácil de identificar debido a que sus ojos reflejan un brillo rojo muy notorio con la luz de las linternas. Algunos individuos fueron encontrados en huecos o endaduras presentes en árboles y cuando eran alumbrados se retiraban hacia atrás dentro estos, dejando su cabeza en la parte superior dificultando así su extracción. En ningún caso el "casco" cerraba completamente la abertura del hueco o hendidura por lo que eran fácilmente retirados con pinzas. Al intentar sacarlos con los dedos, la protección ósea a lo largo del margen lateral de la cabeza, parecía ser usada de forma defensiva por la rana, sugiriendo que el "casco" funciona más como una defensa contra depredadores que como una adaptación contra la desecación (contra la hipótesis de Duellman & Trueb, 1986; Seibert et al., 1974). Se colectaron veintidós machos en la parte alta de caño Caimán con 44.5-53.3 ( $\bar{x} = 48.6 \pm 0.4$ , promedio  $\pm$  error del promedio) mm LRC y cuatro hembras con 54.5-60.1 ( $\bar{x} = 56.2$ ) mm LRC.

En la parte baja de caño caimán los individuos se encontraron en pequeños árboles ubicados a menos de cinco metros a la redonda de un pequeño charco dentro del bosque. Aquí solo se encontró una hembra utilizando un hueco dentro de árbol, los otros individuos se encontraron perchando en ramas de pequeños árboles o sobre trocos muertos y parecían indiferentes a las luces de las linternas. Las ranas de este sitio fueron más grandes que las encontradas en la parte alta de caño Caimán. Se encontraron tres machos con 54.6-59.0 ( $\bar{x} = 57.3$ ) mm LRC y tres hembras con 62.7-67.0 ( $\bar{x} = 64.7$ ) mm LRC.

Paolillo & Cerda (1983) combinaron los datos de tamaños, de esta forma no se puede detectar si hay diferencias entre los tamaños de los individuos de las dos localidades. Registraron una hembra con 66.4 mm LRC y su macho más pequeño midió 46.2 mm LRC. Como se reportó previamente (Paolillo & Cerda, 1983) los machos de esta especie tienen sacos vocales pareados parecidos a los presentes en *Osteocephalus* o *Phrynohyas*. Presentan metacrosis pronunciada. En la noche, los animales son amarillos mate de fondo con retículo café y durante el día se tornan cafés de fondo con retículo negro (Fig. 1). La secreción de la piel de estas ranas produjo reacciones adversas, causando dolor y extrema lagrimación en los ojos. El contacto casual de las manos (des-

pués de capturar las ranas) con los ojos produjo dificultad en la observación por 30 minutos aproximadamente.

### Ranas gladiatoras (grupo *boans* de *Hyla*)

En vista de la incertidumbre de **Hoogmoed** (1990) con relación en las identificaciones de *Hyla boans* para el oriente de Colombia, JDL revisó las colecciones de IAvH y el ICN para determinar las distribuciones de *H. boans* y *H. wavrini* en el país y para evaluar la propuesta de **Hoogmoed** (1990) sobre los caracteres que distinguen las dos especies. Comparando las estructuras listadas por Hoogmoed, todas sirven para separar las dos especies menos la forma del *canthus rostralis* (ambas tienen una *canthus* más o menos cóncavo). Los colores en vivo corresponden bien (utilizando notas de campo archivadas en el laboratorio de Anfibios, ICN) sin embargo, **Hoogmoed** sugirió que la banda dorsal pálida estaba restringida a *H. wavrini* y la línea corta y oscura a *H. boans*.

También existe la propuesta, de que las especies difieren en el uso de nidos. **Hoogmoed** (1990) planteaba que *H. boans* construye nidos para la reproducción mientras *H. wavrini* no. **Duellman** (1997: 14, nota de pie) reportó algunas observaciones de Stefan Gorzula, mencionando que algunas poblaciones asignadas a *H. boans* (de la Gran Sabana en Venezuela) son distinguibles por tamaño de los adultos y por que no hacen nidos. Sin embargo, variación intra-específica (en la construcción de nidos) es conocida en ranas gladiatoras (**Caldwell**, 1992, reportó un macho de *H. crepitans* haciendo un nido en contraste a otros machos). Adicionalmente, Pedro M. Ruiz y JDL observaron machos de *H. crepitans* en el Parque Nacional Natural Tayrona haciendo nidos construidos de cascajos finos en 1983 (allá, cada macho observado construyó un nido de cascajo al lado de la quebrada, fueron mínimo 50 observaciones). Otras observaciones de reproducción de *H. crepitans* y *H. pugnax* en Colombia nunca han encontrado reproducción con nidos.

### *Hyla boans* (Linnaeus)

Aunque no fue coleccionada durante el trabajo de campo en 1997 o 1998, existe un registro de la especie para el Guainía (ver la lista de registros al fin de la relación). La colección del ICN contiene 39 individuos de *H. boans* de Colombia al oriente de los Andes. Diecinueve individuos muestran una línea vertebral angosta, corta y oscura terminando anterior al sacro. Siete individuos del extremo sureste de Colombia y uno de la Macarena tienen bandas dorsales pálidas y angostas sobre el tercio anterior o mitad del cuerpo-cabeza (*contra* la afirmación de **Hoogmoed**, 1990). Los 30 machos miden 71.2-129.5 (pro-

medio  $99.2 \pm 3.2$ ) mm LRC y seis hembras miden 72.4-112.1 (promedio  $100.4 \pm 5.8$ ) mm LRC pero estos valores esconden variación geográfica en tamaño (anticipada por **Cochran & Goin**, 1970). En ejemplares del oriente de Colombia (norte del Río Caquetá), 15 machos adultos miden 71.2-93.5 (promedio  $83.5 \pm 1.8$ ) mm LRC y dos hembras miden 72.4 y 100.5 mm LRC. Adicionalmente, hay dos machos juveniles (65.4 y 77.8 mm LRC) y una hembra juvenil (62.7 mm LRC). En contraste, las muestras del Amazonas y Vaupés incluyen 15 machos adultos, 102.0-129.5 (promedio  $114.3 \pm 1.9$ ) mm LRC y tres hembras adultas 102.6-112.1 mm LRC (ranas más grandes en tamaño, como reportó **Duellman**, 1978 del Ecuador, quien colectó 23 hembras adultas 80-110 [promedio 99.0] mm LRC). Parece poco probable que los colectores hayan sesgado las muestras coleccionando únicamente machos pequeños al norte del río Caquetá y machos más grandes al sur; preferiblemente, las ranas clasificadas hasta el momento como *H. boans* del drenaje del río Orinoco en Colombia son más pequeñas que las del drenaje amazónico. Estos datos ponen obstáculo a comparaciones de tamaños entre *H. boans* y *H. wavrini*. El comentario de **Rivero** (1961) que hay *H. boans* con membranas reducidas sobre "la base oriental de los Andes en Colombia" (implicando que *H. wavrini* ocurriría allá) no es consistente con el estudio de los ejemplares del ICN.

Registros del oriente de Colombia: Depto. Amazonas: Parque Nacional Natural Amaca-yacu (IAvH 2078, 2082, 2298, 5367, ICN 14433); Araracuara, 250 m (ICN 11920-22); 50 km N La Chorrera, río Igara-Paraná (IAvH 3661-62, ICN 3468); Leticia (IAvH 445, 4460-62, 5115, RWF[2]); Puerto Nariño (ICN 11296); Tarapacá, Buenos Aires (ICN 21438). Depto. Casanare: Orocué (ICN 34684-85). Depto. Guainía: San José Coatinga, alto drenaje del río Negro (ICN 31538). Depto. Meta: Caño Menegua (ICN 31539); La Macarena, río Cofre (ICN 21489), La Macarena, SE parte (ICN 2938-39, 2964-65, 2967-69); San Martín, caño Rubiano, Km. 12 carr. San Martín a Hda. Los Guaduales (ICN 2633-34); Villavicencio (ICN 21334), vereda Argentino (ICN 36304), vereda Montecarlo, 650 m (ICN 14257), vereda Villa Torena, 460-640 m (ICN 39432). Depto. Putumayo: Mocoa, serranía de Churumbelo, boca del río Indiyaco (ICN 39842). Depto. Vaupés: ½ milla NE Timbó (IAvH 610); caño Yapú, cerca del río Papuri (ICN 3998-99). Depto. Vichada: caño Negro, región del alto río Tomo (ICN 2441-42).

### *Hyla wavrini* Parker

La Ceiba (ICN 43602), Río Inírida frente a la Ceiba (ICN 43597, 43599), Bosque de caño Seje (ICN 43603,





**Figura 1.** Ranas de Guainía. *Aparasphenodon venezolanus* (arriba izquierda, ICN 40996, macho 46.0 mm LRC), *Hyla ornatissimus* (arriba derecha, ICN 43587, hembra, 32.1 mm LRC), *Hyla wavrini* (mitad izquierda, ICN 41022, macho 75.3 mm LRC), *Leptodactylus riveroi* (mitad derecha, ICN 41054, hembra juvenil, 49.3 mm LRC), *Osteocephalus oophagus* (debajo izquierda, ICN 41033, hembra 54.9 mm LRC), *Pipa snethlageae* (debajo derecha, ICN 41167, hembra, 96.0 mm LRC). Fotos por JDL con excepción de *H. ornatissimma* (MAV).

Laguna Rayado (ICN 43598), caño Caimán, parte baja (ICN 41022-28, 43600-01), caño Pajarito (ICN 41029, 43604), caño Yucuta (ICN 41030), caño Agujón (ICN 41021), Laguna lombriz (ICN 41031-32).

Aunque **Ruiz-C. et al** (1996) registraron *H. wavrini* para Colombia, no reportaron localidades específicas. Se encuentran viejos registros: Depto. Guainía: Inírida, Las Lajas, 1 hr arriba de Pto. Inírida (ICN 2310), caño Guasacaré, El Pato, carr. Huesito a La Mina (ICN 18322-26); Dpto. Vaupés: estación biológica Caparú (IAVH 5677). **Hoogmoed** (1990) demostró que **Cochran & Goin** (1970) erraban en combinar *Hyla wavrini* con *H. boans* (como *H. máxima*) y listo 25 caracteres por los cuales las dos especies pueden ser separadas. En marzo y octubre de 1998, *H. wavrini* fue vista y escuchada todas las noches generalmente cerca de cuerpos de agua. Temprano en la tarde, la mayoría de los individuos cantaban desde ramas de árboles a alturas de cuatro a cinco metros, pero en la noche se encontraron algunos machos cantando sobre el suelo; 17 de marzo (2300 hrs), 21 de marzo (2100 hrs) y 19 de octubre (2330 hrs). Un solo renacuajo con extremidades bien desarrolladas se encontró en caño Agujón (21 de marzo) pero no se preservó.

En caño Agujón (21 de marzo) se observó un macho cantando en una gran depresión (0.8 m de diámetro, poco profunda (3-5 cm) en el borde del caño. El macho (aproximadamente 80 mm LRC) no se colectó pero parecía ser *H. wavrini*. En laguna Rayado (14 de octubre) se observaron sobre sustrato areno-limoso dos individuos grandes (aprox 100 mm LRC) al parecer de esta especie, en depresiones como la antes descrita. No estaban cantando. Estas observaciones resultan interesantes dado que **Hoogmoed** (1990) argumenta que *H. wavrini*, al contrario de otras especies de este grupo no construyen ningún tipo de nido. Para nosotros el "nido" (depresión) es igual que los construidos por *H. boans* o *H. rosenbergi* excepto por su gran tamaño. No se encontraron ni huevos ni renacuajos en los nidos. Debido a que ninguno de los individuos fue capturado, esta por verificar si realmente era *H. wavrini*.

El material del Guainía incluye 13 machos adultos (69.0-134.3 mm LRC,  $\bar{x} = 100.2 \pm 5.7$ ) y siete hembras adultas (95.6-132.1,  $\bar{x} = 110.9$  mm LRC). Además nueve machos juveniles (gónadas pequeñas, sin sacos vocales) con 56.4-62.1 mm LRC. Los datos de tamaño para esta especie publicados por **Hoogmoed** (1990) difieren de estos ( él reporta 25 machos con 89-113 mm y siete hembras 75-81 mm LRC; todos menos tres machos y una hembra son del Amazonas central y bajo río Negro). **Duellman** (1997) reportó los datos de Stefan Gorzula para tamaños máximos de *H. wavrini* en Venezuela con 119 mm (ma-

chos) y 121 mm (hembras). Estos datos sugieren que existe variación geográfica en el tamaño corporal de *H. wavrini*, como ocurre con *Hyla boans*. Cinco machos adultos tienen la banda dorsal pálida a lo largo del cuerpo mencionada por **Hoogmoed** (1990). En la muestra obtenida de *H. wavrini* ninguno individuo tiene línea corta delgada en el dorso y solo el 25 % tiene la línea pálida dorsal estrecha en unos y ancha en otros. Hasta la fecha, la especie aparece común únicamente en el departamento del Guainía. En la estación biológica Caparú (Vaupés), la especie se encuentra simpátrica con *H. boans*.

### *Hyla ornatissima* Noble

Caño Pajarito (ICN 43585-86, 43588, 43591, 43595), Sabana de caño Agujón (ICN 43590), La Ceiba (ICN 43587, 43592, 43594), caño Yucuta (ICN 43589), caño Seje (ICN 43593).

Primer registro de la especie para Colombia. Previamente se conocía de pocas localidades en Guayana, Surinam, Guyana Francesa y Amapá (**Hoogmoed**, 1979a) y del río Kuruay, Gran Sabana (**Señaris & Vernet**, 1997). *H. ornatissima* solo se colectó en la estadía de octubre de 1998. Se encontraron en los días más húmedos (durante o después de fuertes lluvias) desde las 18:20 hasta las 2:30 horas, sobre ramas de arbustos y pequeños árboles en alturas hasta de 2.5 m, cercanos a cuerpos de agua (charcos y caños principalmente) en bosques inundables, bosques de tierra firme y en "matas de monte" dentro de sabanas de arenal cuarzítico. Los individuos ICN 43587 e ICN 43596 se encontraron inactivos en horas del día, bajo hojas de arbusto en bosque de tierra firme. Al igual que anota **Hoogmoed** (1979a) su coloración corporal y patrón de manchas se confundían con el color general de la hoja y con manchas cafés pertenecientes a zonas muertas dentro de ésta (Fig. 1). La noche del 16 y 30 de octubre de 1998 se identificó un gran coro a orilla de caño Pajarito después de fuertes lluvias, en este lugar se colectaron dos hembras con huevos, en una de ellas pigmentados. Se encontraron dos machos (29-33.5 mm LRC), cuatro hembras (tres con huevos pigmentados) (30.1-36 promedio 33.5 mm LRC) y seis juveniles (14-25.9 mm LRC).

### *Osteocephalus leprieurii* (Duméril & Bibron)

#### Bosque E de La Ceiba (ICN 41033)

Solo se encontró una hembra adulta (64.0 mm LRC) sobre hojarasca en el día. Este ejemplar es muy peculiar porque le faltan las bandas dorsales transversales y la mancha pálida subocular consideradas diagnósticas por **Trueb & Duellman** (1971). Este registro es apenas más al



norte de la distribución mostrada por **Trueb & Duellman** (1971) y el primero para el drenaje del Orinoco aunque en el ICN, hay ejemplares de la franja occidental del drenaje, en el Departamento del Meta.

### *Osteocephalus oophagus* Jungfer & Schiesari

Trocha a Laguna Rayado (41034)

Esta especie fue nombrada recientemente (**Jungfer & Schiesari**, 1995) de Brasil para los alrededores de Manaus y representa una de las sorpresas del Guainía. Esta es el primer registro de la especie en Colombia. Una hembra grávida fue encontrada durante del día en la hojarasca. Las medidas son: LRC 54.7, pierna 29.4, anchura de cabeza 17.9, longitud de cabeza 18.2, cuerda de longitud de cabeza 18.2, anchura de párpado superior 4.9, distancia interorbital 5.6, longitud tímpano 3.7, longitud ojo 5.0, distancia narina-ojo 5.8. La piel del dorso es finamente granular (sin tubérculos) y su patrón dorsal es una mezcla de tonos de café (Fig. 1). Iris amarillo dorado intenso con líneas radiando café-rojizo y vientre blanco. Con base en los datos limitados (**Duellman**, 1997), esta especie parece ocurrir sobre el perímetro sur de la Región Guyana de **Hoogmoed** (1979).

### *Osteocephalus taurinus* Steindachner

La Ceiba (ICN 43614), Bosque al E de La Ceiba (ICN 41036), Laguna Rayado (ICN 43605-06, 43609-12), caño Pajarito (ICN 41035), Comunidad La Paloma (ICN 43607), mata de monte dentro de sabana aledaña a caño Yucúta (ICN 43608).

Aunque se encontraron ejemplares en la hojarasca, la mayoría se encontraron perchados en árboles y arbustos a alturas de uno a tres metros en bosques de galería, bosque de tierra firme y matas de monte dentro de sabana. En bosque que conduce a laguna Rayado, se observaron dos machos cantando el 17 de octubre (1900 y 2100 hrs) en arbustos pequeños; cuando se intentaron capturar, saltaron al árbol más cercano y subieron rápidamente 3 o 4 metros. Este particular comportamiento fue registrado por **Duellman** (1978) en Santa Cecilia y por JDL en otras ocasiones en la Amazonía (1985-1999). Dos machos colectados en marzo de 1998 (64.6-66.6 mm LRC) tenían los sacos vocales dilatados. También se colectaron dos hembras inmaduras (66.9-80 mm LRC) una en marzo y otra en octubre de 1998. Indígenas de la comunidad de La Ceiba reportan que la especie es consumida durante la temporada húmeda. Este registro está dentro del área de distribución trazada por **Trueb & Duellman** (1971).

### *Phrynohyas venulosa* (Laurenti)

Las Lajas, bajo río Infrida, una hora arriba de Puerto Infrida (ICN 2311).

Una hembra grávida de esta especie fue coleccionada por Federico Medem en 1969. La especie tiene una distribución muy amplia en las tierras bajas.

### *Phyllomedusa bicolor* (Boddaert)

Caño Caimán (ICN 43615), caño Pajarito, La Ceiba, caño Yucuta.

Solo se encontró un macho adulto (95 mm LRC), el 24 de octubre, en caño Caimán sobre rama de árbol que atraviesa el caño a 5 m de altura a las 11:30 PM en actividad. Se identificó por el canto. Estos cantos también escucharon en el dosel del bosque de galería de caño Yucuta, caño Pajarito y bosque alto de La Ceiba junto a la comunidad Curripaca, pero no se observaron los individuos.

### *Scinax rubra* (Laurenti)

Sabana aledaña a caño Yucuta (ICN 43616), La Ceiba (ICN 43617), bosque intervenido detrás de La Ceiba (ICN 43618-19), Pto. Infrida.

Se encontró y observó en lugares abiertos y/o deforestados, en la comunidad indígena y en zona Urbana de Pto. Infrida (construcciones). También se observó en charcos al lado de la carretera que conduce de Pto. Infrida a caño Vitina. No hubo evidencias de actividad reproductiva.

### *Scinax wandae* (Pyburn & Fouquette)

Caño Agujón (ICN 43663).

Solo un individuo juvenil se colectó el 15 de octubre en actividad a las 6:30 PM en arbusto cercano a bosque alto a 50 cm del suelo. Este registro, amplía el rango de distribución para la especie hacia el oriente. Solo se conocía de ecotono de bosque y Llanos en Colombia central. Se plantea la posibilidad de que la especie entre a Venezuela.

### Leptodactylidae

#### *Adenomera andreae* Müller

Caño Morojoy (ICN 43620).

Rana muy escasa, solo un individuo juvenil (19.2 mm LRC) se capturó el 26 de octubre en bosque de galería a las 8:20 PM en actividad sobre hojarasca después de lluvia.

***Adenomera hylaedactyla* (Cope)**

Bosque 45 minutos (a pie) E de La Ceiba (ICN 41037-42).

La mañana del 25 de marzo, seis ejemplares fueron capturados en hojarasca profunda (20 cm) en bosque de tierra firme. Las ranas fueron abundantes en la hojarasca pero muy difíciles de capturar. Durante la salida del marzo, pasábamos casi todo el tiempo en bosques de inundación, donde no observamos *Adenomera*. Este registro representa una extensión de la distribución hacia el norte, pero no hacia el este por que los patrones distintivos de las poblaciones Guyanesas (Heyer, 1974) no están representadas en este pequeño muestreo. Se colectaron cuatro machos (16.7-19.3 mm LRC), una hembra juvenil (18.5 mm LRC) y una hembra adulta (19.3 mm LRC). Todos tienen los puntos de los dedos de códigos B-C (siguiendo Heyer, 1974), una línea vertebral corta (B o D), y carecen bandas dorsolaterales. Los machos tienen el labio superior reforzado, presuntamente es utilizado para excavar nidos, resultando en un hocico punteado en vista lateral.

***Eleutherodactylus vilarsi* (Melin)**

Caño Rico, Cerro Mina (IAvH 6188)

Esta especie tiene una distribución asociada con afloramientos graníticos y se encuentra en los departamentos de Amazonas, Caquetá, Guainía, Guaviare, Meta, Vaupés y Vichada.

***Leptodactylus fuscus* (Schneider)**

Sabana de caño Yucuta (ICN 43621), Conuco aledaño a La Ceiba (ICN 41043, 43623-24), Sabana de caño Agujón (ICN 43622, 43625-26).

En marzo solo se encontró una hembra grávida (44 mm LRC) bajo tronco en conuco (zona de cultivo de los indígenas). En octubre se encontraron dos hembras (45.5, 44 mm LRC), dos machos juveniles (42.6, 40.3 mm), y dos individuos juveniles (41.3, 34.4 mm LRC). Cuatro de estos individuos, se encontraron activos en horas de la noche en sabanas naturales con predominio de gramíneas y dos más en situaciones periantrópicas cercanos a La Ceiba. Tanto en marzo como en octubre se escucharon coros presumiblemente de esta especie en horas de la noche, en sabanas naturales (caños Agujón y Yucuta) y artificiales (caño Pajarito). Es posible que los coros escuchados pertenezcan a *L. longirostris* en lugar de *L. fuscus*.

***Leptodactylus knudseni* Heyer**

Conuco aledaño a La Ceiba (ICN 41044-45, 43627), potrero aledaño a La Ceiba (ICN 43628).

En marzo se encontraron dos individuos (hembras juveniles 82.3 y 96.6 mm LRC) en claro de conuco (zona de cultivo indígena). Estaban sobre el piso lejos del bosque. En octubre se encontraron dos individuos más (hembra juvenil 66.7 mm y macho juvenil 54.5 mm LRC) en conuco y potrero aledaños a La Ceiba, sobre el suelo, en actividad en horas de la noche. También se encontraron alejados de zona boscosa. Varios juveniles presumiblemente de esta especie se observaron en caminos cercanos a la comunidad de La Ceiba. No hubo evidencia de actividad reproductiva.

***Leptodactylus lithonaetes* Heyer**

El Remanso (ICN 39033-34, 41046), raudal entre Venado, El Remanso & Cerro Narcuró (ICN 39038), Cerro Mavepure (ICN 40486), zona rocosa, vía a caño Vitrina, 130 m, 3° 48' 27" N, 67° 50' 16" W (ICN 40487-90).

Heyer (1995) reportó esta especie para el Guainía. El macho adulto ICN 39038 (46.4 mm LRC), tiene una espina en el pulgar, una espina en cada lado del pecho, y una mancha de tubérculos queratinizados sobre la gula. El individuo ICN 39033 es una hembra grávida con 49.2 mm LRC. El macho ICN 41046, (37.7 mm LRC), tiene una espina negra en el pulgar y tubérculos no queratinizados en la gula pero sin espinas del pecho, fue capturado el 26 de marzo debajo una roca sobre un afloramiento granítico ubicado frente a la comunidad de El Remanso, al otro lado del río Inírida. El canto no fue grabado pero la descripción del canto es "una silbato mecánico, como un juguete de cuerda." Basados en número de cantos, los machos fueron comunes en este afloramiento granítico, bajo rocas grandes y cantaron frecuentemente al medio día.

***Leptodactylus longirostris* Boulenger**

Caño Caimán, 2do campamento (ICN 39032)

Una hembra juvenil (34.2 mm LRC) fue coleccionada en 1997, presuntamente en los alrededores del charco donde Pedro Galvis estudiaba anidación de *Podocnemis erythrocephala*. El ejemplar corresponde bien con la descripción de Heyer (1978) y representa el registro más occidental de la especie y el primer registro de la especie para Colombia.

***Leptodactylus riveroi* Heyer & Pyburn**

Caño Agujón (ICN 41047-53), caño Caimán, sitio alto (ICN 41054-65), caño Caimán, sitio bajo (ICN 41066-69), caño Pajarito (ICN 41070-85), caño Seje (ICN 41086-106), caño Yucuta (ICN 41107-08), trocha a Laguna Rayado



(ICN 41109-17), 45 minutos (a pie) E La Ceiba (ICN 41118-20).

**Heyer & Pyburn** (1983) describieron esta especie basada en material del departamento de Vaupés y del sur de Venezuela. Los registros presentes sugieren que estas dos regiones, representan extremos de una distribución continua. El material de la región de La Ceiba corresponde bien con la descripción detallada de la especie (ver más adelante con relación al tamaño). Fue la especie más abundante en todos los sitios visitados exceptuando bosques de tierra firme, sabanas y El Remanso. Sobre los caños y el río, juveniles pequeños fueron conspicuos durante el día y juveniles más adultos en la noche. Las ranas adultas fueron más común cerca el borde de la playa. Las hembras adultas casi siempre se encontraron sobre barrancos (de 3-5 metros fuera del agua y entre el bosque, pero en una posición tal, que unos pocos saltos fueran suficientes para entrar al agua). *Leptodactylus riveroi* fue igualmente común sobre la playa de Laguna Rayado.

Machos 40.3-51.0 mm LRC tienen un par de espinas nupciales en los pulgares. Ambas están queratinizadas en solo dos machos (45.6-47.5 mm LRC) aunque otro ejemplar (ICN 41049) tiene la espina distal, pero no la espina proximal, queratinizada. Tres machos (42.3-43.9 mm LRC) tienen los extremos de las espinas queratinizadas pero las bases son blancas. Los machos menores de 40 mm LRC carecen de espinas nupciales. Ningún macho tiene herraduras vocales. No oímos cantos que se puedan atribuir a esta especie.

Las hembras menores de 55-56 mm LRC tienen oviductos delgados y estrechos y tienen uniformemente huevos pequeños y blancos en los ovarios. Las hembras más grandes, muestran circunvoluciones del oviducto pero solo dos, tienen huevos pigmentados (ICN 41069, 67.6 mm LRC, y JDL 21565, 68.6 mm LRC). La hembra más grande (ICN 41109, 76.7 mm LRC) tiene huevos no pigmentados. Consideramos estos datos como indicios de que *L. riveroi* estaba apenas entrando a condición reproductiva en marzo de 1998.

Los pliegues dorsolaterales completos no son tan prominentes como los ilustrados por **Heyer & Pyburn** (1983) y se notan más fácilmente por la línea negra por debajo de estos. La banda labial posterior de color blanca (lavada con naranja) es evidente en todos los ejemplares y es probablemente el mejor carácter para distinguir esta especie (Fig. 1), de la más pequeña y superficialmente parecida *L. petersi* (**Heyer**, 1994), aunque las dos difieren por que el pliegue tarsal interno de *L. petersi* es más largo (7/8 la longitud del tarso) que el de *L. riveroi* (2/3 la longitud del tarso).

### *Lithodytes lineatus* (Schneider)

Puerto Inírida (ICN 45081)

Solo un juvenil (18 mm) se capturó en potrero cercano a Puerto Inírida el 8 de noviembre a las 3:00 PM en actividad, sobre hojarasca húmeda. Tres juveniles más al parecer de esta especie, fueron observados pero no capturados en el mismo lugar en horas de la noche. Todos se encontraron cercanos a nido de hormiga arriera (*Atta* sp).

### *Pseudopaludicola boliviana* Parker

Caño Seje (ICN 41121-62, 43637-39), sabana caño Agujón (ICN 43640), trocha a laguna Rayado (ICN 41163-66).

Especie abundante en hojarasca húmeda a lo largo de caño Seje y al lado opuesto del río Inírida frente a la comunidad de La Ceiba. Los individuos se capturaron en horas del día, para lo cual se necesitó de mucha atención y habilidad. El hecho de que no se hubieran encontrado en la noche se debe a su pequeño tamaño y a la ausencia de cantos durante la estadía. Este registro no es ninguna sorpresa, siendo equidistante de registros anteriores en Colombia y Sur de Venezuela (**Lynch**, 1989). Aunque en octubre se encontró un individuo en sabana y se observaron tres más, en general la mayor parte de los registros confirman observaciones anteriores que *P. boliviana* en el sur oriente Colombiano es una rana de bosque en lugar de ocupar los pastizales (prados) como ocurre en el departamento del Meta.

### *Pseudopaludicola llanera* Lynch

Caño Agujón (ICN 43642), conuco cercano a La Ceiba (ICN 43643), Bosque cercano a Comunidad La Paloma (ICN 43641),

Rana poco abundante en la zona de estudio. Aunque **Lynch** (1989) la reportó para sabana en el departamento del Guainía, al igual que *P. boliviana* en la zona, parece ser una rana que prefiere el bosque. Dos individuos (13.9, 15 mm LRC) se capturaron durante el día dentro de hojarasca húmeda y uno (15.5 mm LRC) en sabana en horas de la noche en hondonada dejada por un pequeño charco seco. No se encontraron evidencias de actividad reproductiva.

## Microhylidae

### ¿*Elachistocleis ovalis*?

Aunque no encontrábamos ejemplares, echábamos individuos cantando esporádicamente la noche del 19 de

marzo, probablemente en sabanas, a lo largo del caño Pajarito.

### ¿*Synapturanus sp?*

Ningún individuo fue capturado pero en caño Caimán, 2do campamento, Pedro Galvis vio una rana pequeña con un hocico largo en bosque de tierra firme pero escapó. En la misma localidad, JDL escuchó cantos de un microhélido cuya voz fue desconocida, no se pudo localizar el ejemplar. La rana estaba cantando en la cuenca de un charco a 2 ó 3 metros de la orilla. Buscando en charcos pequeños laterales resultó únicamente la observación de *Electrophorus* e insectos, buscando en el pasto aledaño tampoco se encontró el macho que cantaba. Pensamos que el animal estaba en algún tipo de madriguera.

## Pipidae

### *Pipa snethlageae* Müller

Caño Agujón (ICN 41167), caño Caimán (ICN 39026), Puerto Inírida (IAVH 474), "Río Inírida (U. Javeriana).

Los cuatro ejemplares carecen del órgano nasal (en el margen anterior de la mandíbula superior) pero difieren en la morfología de las puntas de los dedos. Un macho pequeño (46.0 mm LRC), ICN 39026, y IAVH 474, un juvenil 34.0 mm LRC, tienen dedos con papilas sencillas, característica (Trueb & Cannatella, 1986) de *Pipa snethlageae* mientras que ICN 41167 (hembra adulta, 96.0 mm LRC, con huevos grandes en el ovario) tiene papila bifurcada característica de *Pipa pipa*. Un ejemplar de la Universidad Javeriana fue mantenido en cautiverio por lo menos seis meses y las puntas de los dedos muestran erosión, como la producida por la infección de un hongo. Algunos dedos carecen de todas las papilas y cuando se puede observar (desde una hasta cuatro papilas), están sencillas, no bifurcadas. Los ejemplares ICN fueron capturados en pequeños remansos a lo largo de los caños entre bosques. El ejemplar de la Universidad Javeriana fue comprado de un traficante de animales en Bogotá quién admitió a Andrés Acosta que fue obtenido del Río Inírida (supuestamente comprada a los indígenas, quienes coleccionan organismos que venden en Puerto Inírida, para acuarios en Bogotá).

A pesar de la variación en papilas digitales, pensamos que todos estos ejemplares son coespecíficos y utilizamos *P. snethlageae* como el nombre para ellos. Trueb & Cannatella consideraron las papilas digitales y el órgano nasal de *P. pipa* como autapomorfías. Revisión de

la material de *P. pipa* en la colección del ICN confirma que no hay variación en estos caracteres en *P. pipa*. La conclusión que estos son (deben ser) caracteres diferentes es evidente en ICN 41167 por que el ejemplar tiene papilas bifurcadas y carece el órgano nasal (Fig. 1). Sin embargo, este ejemplar sugiere que la morfología de papilas no es una autapomorfía. Las otras autapomorfías mencionadas por Trueb & Cannatella para este par de especies, representan falsificaciones de su hipótesis de parentescos dentro las especies de *Pipa*. Como muchos sistemáticos contemporáneo, parece que ellos confunden pruebas de hipótesis, evidencia y la verificación de hipótesis.

## Discusión

La anurofauna del Guainía se presenta aquí con 27 especies incluyendo cuatro (*Aparasphenodon venezolanus*, *Leptodactylus longirostris*, *Hyla ornatissima* y *Osteocephalus oophagus*) no registradas previamente para Colombia. Aunque se encuentran algunos elementos de sabana (*Leptodactylus fuscus*, *L. longirostris*, *Pseudopaludicola llanera*) el carácter de esta fauna es de bosque. La fauna es marcadamente empobrecida comparándola con la riqueza de la fauna Amazónica (alta diversidad alfa, baja diversidad beta) encontrada en el sur (Duellman & Thomas, 1996) y más comparable con la fauna de la Guyana (Hoogmoed, 1979b; Duellman, 1997) donde la diversidad beta es pronunciada y la diversidad alfa es bastante baja. Se encontraron pocos elementos Guyaneses en la anurofauna del Guainía (*Aparasphenodon venezolanus*, *Eleutherodactylus vilarsi*, *Hyla wavrini*, *Leptodactylus lithonaetes*, *L. longirostris*, *Osteocephalus oophagus*, *Hyla ornatissima*). La ausencia de centrolénidos, dendrobátidos y más leptodactílidos del género *Eleutherodactylus* probablemente refleja la presencia de una época seca pronunciada.

## Agradecimientos

A Alberto Cadena y Olga Castaño por la colaboración en la colección de ejemplares. Agradecemos especialmente a Pedro Galvis quién además de colaborar en la colección de ejemplares, nos ayudó mucho como guía, motorista y compañero de campo. A Andrés Acosta por su ayuda en estudio de material de la Universidad Javeriana y a Yaneth Muñoz del Instituto Alexander von Humboldt por las cortesías en Villa de Leyva. La investigación fue financiada por convenio entre la Corporación para el Desarrollo sostenible del Norte y Oriente Amazónico (CDA) y el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia.

## Bibliografía

- Caldwell, J.** (1992). Diversity of reproductive modes in anurans: facultative nest construction in gladiator frogs. Pp. 85-97. En **W. C. Hamlett** (Ed.), *Reproductive Biology of South American Vertebrates*. Springer-Verlag, New York.
- Cochran, D. M. & C. J. Goin.** (1970). Frogs of Colombia. United States National Museum Bulletin (288): 1-655.
- Duellman, W. E.** 1978. The Biology of an Equatorial Herpetofauna in Amazonian Ecuador. The University of Kansas Museum of Natural History, Miscellaneous Publications (65): 1-352.
- \_\_\_\_\_. 1997. Amphibians of La Escalera region, southeastern Venezuela: taxonomy, ecology, and biogeography. *Sci. Pap., Nat. Hist. Mus. Univ. Kansas* (2): 1-52.
- Duellman, W. E. & R. Thomas.** 1996. Anuran amphibians from a seasonally dry forest in southeastern Peru and comparisons of the anurans among sites in the upper Amazon basin. *Occas. Pap. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas* (180): 1-34.
- Duellman, W. E. & L. Trueb.** 1986. *Biology of the Amphibia*. McGraw Hill Book Co., New York.
- Heyer, W. R.** 1974. Systematics of the *marmoratus* group of the genus *Leptodactylus* (Amphibia, Leptodactylidae). *Contr. Sci. Los Angeles County Mus.* (251): 1-50.
- \_\_\_\_\_. 1978. Systematics of the *fuscus* group of the frog genus *Leptodactylus* (Amphibia, Leptodactylidae). *Sci. Bull., Nat. Hist. Mus. Los Angeles County* (29): 1-85.
- \_\_\_\_\_. 1994. Variation within the *Leptodactylus podicipinus-wagneri* complex of frogs (Amphibia: Leptodactylidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* (546): 1-124.
- \_\_\_\_\_. 1995. South American rocky habitat *Leptodactylus* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae) with description of two new species. *Proc. Biol. Soc. Wash.* 108: 695-716.
- Heyer, W.R. & W.F. Pyburn.** 1983. *Leptodactylus riveroi*, a new frog species from Amazonia, South America (Anura: Leptodactylidae). *Proc. Biol. Soc. Washington*. 96: 560-566.
- Hoogmoed, M.S.** 1979a. Resurrection of the *Hyla ornatissima* Noble (Amphibia, Hylidae) and remarks on related species of green tree frogs from the Guyana area. Notes on the herpetofauna of Suriname VI. *Zoologische Verhandelingen* 172. Leiden. 46p.
- \_\_\_\_\_. 1979b. The Herpetofauna of the Guyanan Region. Pp. 241-279 En **W. E. Duellman** (ed.), *The South American Herpetofauna: Its Origin, Evolution and Dispersal*. Museum of Natural History, University of Kansas Monograph No 7, Lawrence, Kansas.
- \_\_\_\_\_. 1990. Resurrection of *Hyla wavrini* Parker (Amphibia: Anura: Hylidae), a gladiator frog from northern South America. *Zoologische Mededelingen, Leiden* 64(6): 71-93.
- Jungfer, K.H & L.C. Schiesari.** 1995. Description of a central Amazonian and Guayanan tree frog, genus *Osteocephalus* (Anura, Hylidae), with oophagous tadpoles. *Alytes* 13: 1-13.
- Lynch, J.D.** 1989. A review of the leptodactylid frogs of the genus *Pseudopaludicola* in northern South America. *Copeia* 1989: 577-588.
- Lynch, J. D., P. M. Ruiz Carranza & M. C. Ardila Robayo.** 1997. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 21 (80): 237- 248.
- Paolillo, O.A. & J. Cerda.** 1983 ("1981"). Nuevos hallazgos de *Aparasphenodon venezolanus* (Mertens) (Salientia, Hylidae) en el territorio federal Amazonas, Venezuela, con anotaciones sobre su biología. *Memoria Sociedad de Ciencias de La Salle* 41 (115): 77-95.
- Seibert, E. A., H. B. Lillywhite & R. J. Wassersug.** 1974. Cranial coossification in frogs: relationship to rate of evaporative water loss. *Physiological Zoology* 47: 261-265.
- Señaris, J.C. & O. Vernet.** 1997. Geographic Distribution (Amphibia). *Hyla ornatissima*. *Herpetological Review* 28: 207.
- Rivero, J. A.** (1961). Salientia of Venezuela. *Bull. Mus. Comp. Zool.* 126: 1-207.
- Ruiz Carranza, P. M., M. C. Ardila Robayo & J. D. Lynch.** (1996). Lista actualizada de la fauna de Amphibia de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 20 (77): 365-415.
- Trueb, L. & D.C. Canatella.** 1986. Systematics, morphology, and phylogeny of genus *Pipa* (Anura: Pipidae). *Herpetologica*, 42(4): 412-419.
- Trueb, L. & W. E. Duellman.** 1971. A synopsis of Neotropical hylid frogs, genus *Osteocephalus*. *Occas. Pap. Mus. Nat. Hist., Univ. Kans.* (1): 1-47.
- Vélez-R, C. M.** 1995. Estudio taxonómico del grupo *Bufo typhonius* (Amphibia: Anura: Bufonidae) en Colombia. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

# CLAVE PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS GÉNEROS Y ESPECIES PHANAEINAS (COLEOPTERA: SCARABAEIDAE: COPRINAE: PHANAEINI) DE COLOMBIA

por

Adriana Vítolo- L.\*

## Resumen

**Vítolo A.** Clave para la identificación de los géneros y especies Phanaeinas (Coleoptera: Scarabaeidae: Coprinae: Phanaeini) de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* **24**(93): 591-601, 2000. ISSN 0370-3908.

Se presenta una clave para la identificación de los géneros phanaeinos, basada en la clave propuesta por **Edmonds** (1972). Igualmente, se propone una clave dicotómica ilustrada para la identificación de las especies de la tribu Phanaeini (Coleoptera: Scarabaeidae: Coprinae) de Colombia, lograda mediante revisión del material de Phanaeini depositado en siete colecciones entomológicas del país.

**Palabras clave:** Clave dicotómica, Colombia, Escarabajos estercoleros, Phanaeini.

## Abstract

A key to the identification of the phanaeine genera, based in **Edmonds** (1972), is presented. A dicotomic key to the phanaeine species (Coleoptera: Scarabaeidae: Coprinae) of Colombia is proposed. This key was achieved by checking the phanaeine material from seven Colombian entomological collections.

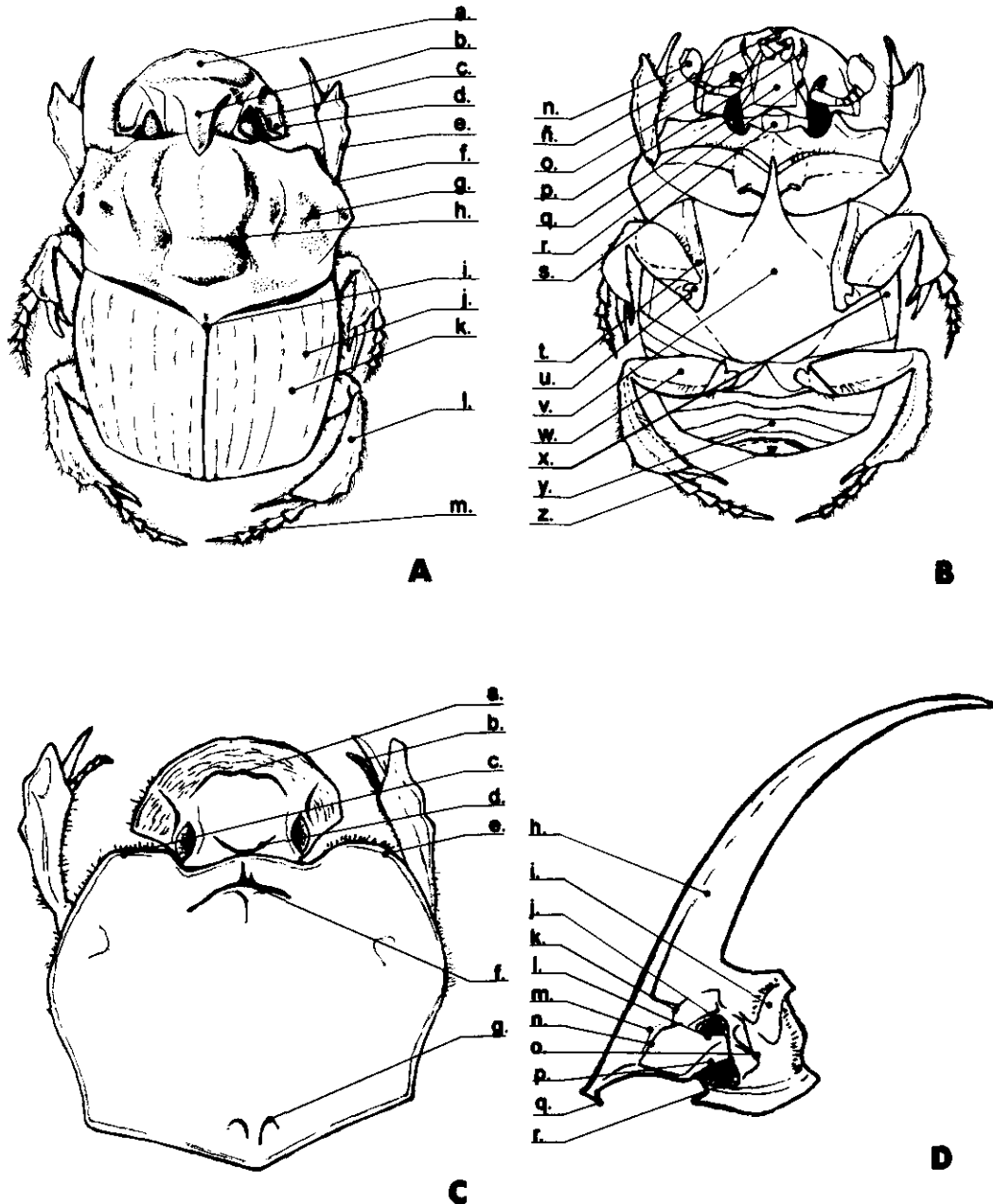
**Key words:** Colombia, Dicotomic key, Dung Beetles, Phanaeini.

## Introducción

La tribu Phanaeini (Scarabaeidae: Coprinae) comprende un grupo de escarabajos estercoleros de hábitos

cavadores que se caracterizan por tener cuerpo robusto (Fig. 1A), antena en forma de copa (la lamela basal es cóncava y recibe las otras lamelas) (Fig. 1B), clípeo carenado dorsalmente (Fig. 1C), ojo completamente dividido en

\* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Apartado Aéreo 57325 de Bogotá, Colombia. E-mail: micrastur@yahoo.com



**Figura 1.** A. Cuerpo vista dorsal (a. Clípeo b. Proceso cefálico c. Ojo d. Gena e. Carenas de la tibia frontal f. Margen pronotal g. Fosa lateral h. Procesos pronotales i. Angulo posteromedial del pronoto j. Estría elitral k. Interestria l. Tibia m. Tarso) B. Cuerpo vista ventral (n. Antena ñ. Proceso clipeal o. Palpo labial p. Palpo maxilar q. Mentum r. Mandíbulas s. Gula t. Coxa u. Trocánter v. Metaesternio w. Fémur x. Metepisterno y. Esternos abdominales z. Pigidio) C. Vista dorsal de cabeza y pronoto (a. Carena frontal b. Tarsos anteriores c. Carena circumnotal d. Carena occipital e. Angulo anterolateral del pronoto f. Carena pronotal transversa g. Fosas basales o posteriores) D. Vista lateral de la cabeza de un macho phanaeino (h. Proceso cefálico i. Área occipital j. Porción dorsal del ojo k. Rama media del surco frontoclipeal l. Carena paraocular m. Carena lateral del clípeo n. Surco frontoclipeal o. Lóbulos postoculares de los parietales p. Área cantal q. Proceso clipeal r. Porción ventral del ojo).

dos porciones (Fig. 1D), aletas del metepisterno presentes, metaesterno acuminado, aplanado y pentagonal (Fig. 1B), colores metalizados y marcado dimorfismo sexual; los machos de la mayoría de las especies presentan procesos cefálicos y pronotales en forma de cuernos o protuberancias (Fig. 1D) (Edmonds 1972).

Phanaeini es predominantemente un grupo tropical, endémico del Nuevo Mundo con nueve géneros y 140 especies conocidas (Gill 1991). Para Colombia se han registrado 34 especies de escarabajos phanaeinos (Vítolo 2000). La mayoría de las especies de la tribu son diurnas, algunas son vespertinas o crepusculares y se alimentan de excrementos de grandes herbívoros, omnívoros y carnívoros.

Los phanaeinos, al igual que todos los escarabeidos, son un grupo importante en estudios ecológicos; conforman un gremio bien definido tanto en el sentido funcional como taxonómico. Su participación en el reciclaje de nutrientes los hace elementos muy importantes dentro de los ecosistemas. Además, debido a la sencillez y bajo costo de las técnicas de muestreo, son un grupo ideal para estudios comparativos entre diferentes localidades geográficas de un mismo ecosistema (Halffter & Fávila 1993).

A pesar de que estos escarabajos son una herramienta importante para estudios ecológicos, son muy pocos los estudios realizados sobre su taxonomía y distribución en Colombia. El presente trabajo proporciona una clave dicotómica ilustrada que permite identificar las especies de Phanaeini del país.

## Materiales y Métodos

Para la elaboración de la presente clave se revisó el material de Phanaeini de las siguientes colecciones entomológicas: Colección Entomológica Francisco Luis Gallego, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín (CFLG); Colección de Entomología, Universidad del Valle, Cali (CUV); Colección Entomológica, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Villa de Leyva, Boyacá (IAVH); Instituto de Ciencias Naturales- Museo de Historia Natural, Colección de Entomología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (ICN-MHN); Museo de Historia Natural, Colección Entomológica, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá (MHN-UPN); Museo de Historia Natural, Colección Entomológica, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (MUJ); Colección personal de Jorge Ari Noriega (JAN-IC), Bogotá.

También se revisó el material de Phanaeini colectado en proyectos de los investigadores Alejandro Lopera y Claudia Medina.

Se tomó como referencia la información taxonómica presentada por Olsoufieff (1924), Blut (1939), Pessoa (1934), Edmonds (1972, 1994), Howden & Young (1981) y Arnaud (1997).

Las ilustraciones se realizaron con ayuda de un estereoscopio convencional.

## Clave para la identificación de los géneros de la tribu Phanaeini (Basado en Edmonds, 1972)

1. Tarsos medio y posterior con menos de cinco segmentos ..... 2
- 1'. Tarsos medio y posterior con cinco segmentos ..... 3
- 2 (1). Tarsos medio y posterior con dos (Fig. 2A) o tres segmentos (Fig. 2B); Clípeo emarginado medialmente; depresiones laterales en la base del pigidio; gena levantada en su parte media por una carena gruesa o abultamiento (Fig. 2C) ..... *Dendropaemon*
- 2'. Tarsos medio y posterior con cuatro segmentos; el cuarto segmento (distal) muy pequeño (Fig. 2D); clípeo no emarginado medialmente; pigidio sin depresiones de ningún tipo; gena sin carenas adicionales ..... *Tetrameria*
- 3 (1'). Superficie dorsal de tibia y tarso posterior cubierta por gránulos setíferos (Fig. 2E); carena clipeal lateral ausente ..... *Homalotarsus*
- 3'. Superficie dorsal de tibia y tarso posterior glabra, si poseen gránulos de setas, éstos son muy pequeños; carena clipeal lateral presente ..... 4
- 4 (3'). Palpo labial formado por un solo segmento (Fig. 2F); superficie dorsal de la tibia posterior (Fig. 2G) y esternos abdominales con hileras de setas ..... *Megatharsis*
- 4'. Palpo labial trisegmentado; tibia y esternos abdominales sin hileras de setas ..... 5
- 5 (4'). Margen anterior del clípeo medialmente emarginado, con dos dientes estrechos y elongados (Fig. 2H); proceso clipeal en forma de "U" (Fig. 2I); tibia anterior con dientes fuertemente marcados y agudos, separados por espacios angostos (Fig. 2J) ..... *Coprophaeus*
- 5'. Margen anterior del clípeo no emarginado medialmente, nunca con dientes elongados (Fig. 2K); proceso clipeal nunca en forma de U; tibia

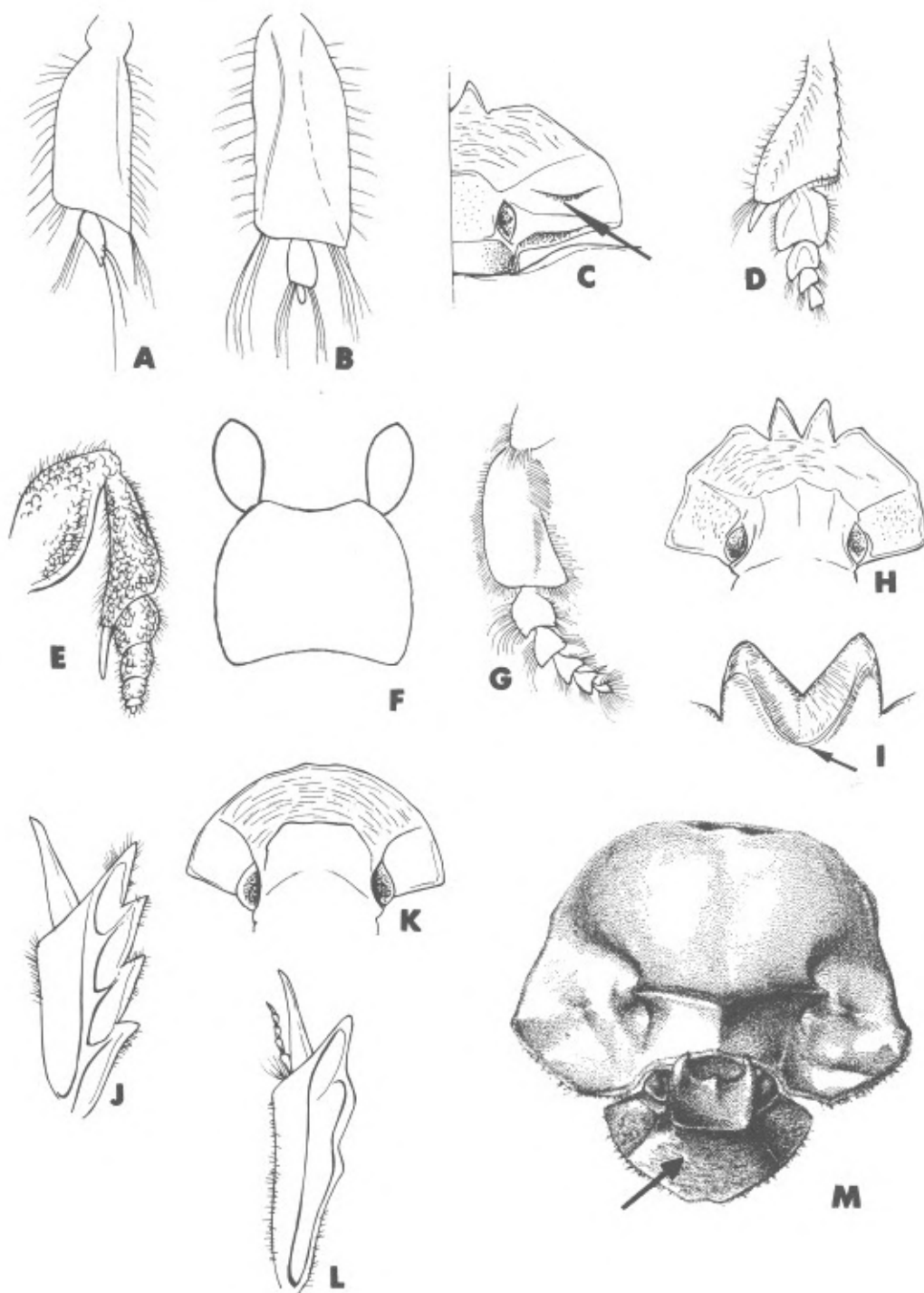


Figura 2. A-B Tarsos de *Dendropaemon* C. Carena en cílopeo de *Dendropaemon* D. Tibia y tarso de *Tetramereia* E. Pata posterior de *Homalotarsus* F. Palpos labiales de *Megatharsis* G. Tibia y tarso posterior de *Megatharsis* H. Cílopeo de *Coprophanaeus* I. Proceso cílopeo de *Coprophanaeus* J. Tibia anterior de *Coprophanaeus* K. Cílopeo no emarginado medialmente L. Pata anterior con dientes tibiales redondeados separados por espacios anchos M. Vista frontal de la cabeza de *Diabroctis cadmus* (macho), señalando la carena transversal del cílopeo.

- anterior con dientes redondeados separados por espacios anchos (Fig 2L) ..... 6
- 6 (5'). Carena clipeal transversa presente (Fig. 2M); borde externo de la tibia posterior con una carena subapical transversa (Fig. 3A) ..... *Diabroctis*
- 6'. Carena clipeal transversa ausente; carena transversa de la tibia posterior raramente presente ..... 7
- 7 (6'). Angulo antero- medial del metaesternon prolongado como una espina larga y aguda extendiéndose entre los ápices de la coxa anterior (Fig. 3B); ángulo posteromedial del pronoto agudo y prolongado entre la base de los élitros (Fig. 3C) ..... *Oxysternon*
- 7'. Angulo antero- medial del metaesternon no en forma de espina; ángulo posteromedial del pronoto no prolongado ..... 8
- 8 (7'). Carena occipital completa; porción anterior de la margen pronotal claramente interrumpida por emarginaciones que reciben los lóbulos postoculares de los parietales (Fig. 3D) *Phanaeus*
- 8'. Carena occipital ausente o incompleta; porción anterior de la margen pronotal no interrumpida por emarginaciones detrás de los ojos (Fig. 3E) ..... *Sulcophanaeus*

#### Clave para la identificación de las especies del género *Diabroctis* de Colombia

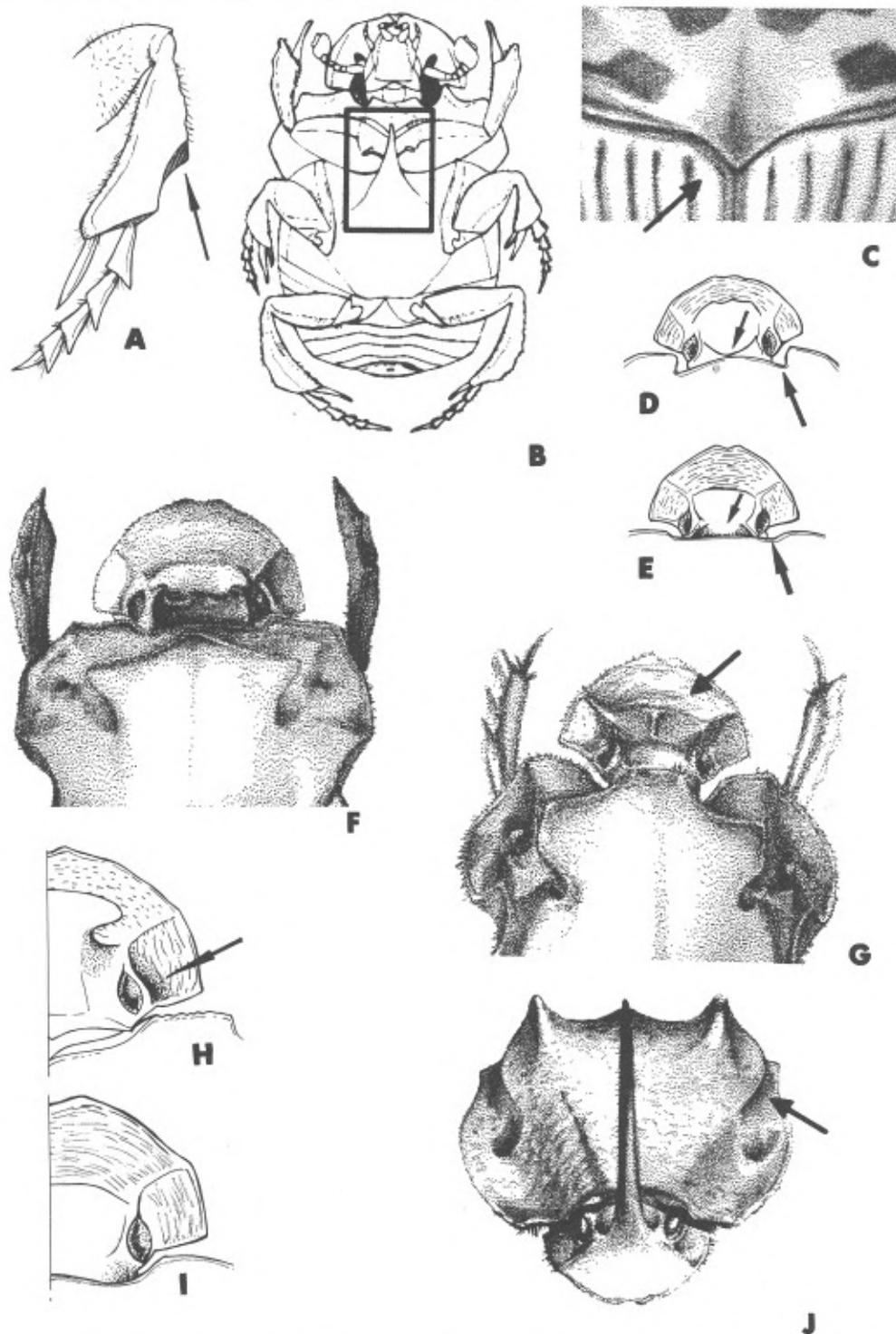
1. Pronoto del macho con una prominencia de tres ángulos y una carena media vertical que se une a la margen anterior; porciones laterales del pronoto color verde- amarilloso metalizado. Proceso cefálico como dos proyecciones laterales arqueadas internamente y una medial más pequeña (Fig. 3F). Pigidio sin impresiones basales ..... *Diabroctis cadmus*
- 1'. Pronoto del macho con una prominencia de cuatro ángulos, sin carena media vertical; porciones laterales color amarillo- dorado. Proceso cefálico como dos proyecciones conformes divergentes, sin denticulo medio (Fig. 3G). Pigidio con impresiones basales ..... *Diabroctis mimas*

#### Clave para la identificación de las especies del género *Sulcophanaeus* de Colombia

1. Genas fuertemente carenadas junto al ojo (Fig. 3H) ..... 2

- 1'. Genas no carenadas junto al ojo (Fig. 3I) ..... 4
- 2 (1). Carena pronotal lateral presente (Fig. 3J). Machos y hembras con procesos cefálicos conspicuos y prominentes. Tarsos anteriores presentes en hembras. Especies de tamaño grande (25- 50 mm) ... 3
- 2'. Carena pronotal lateral ausente. Solo el macho presenta proceso cefálico coniforme; hembra con carena cefálica tuberculada. Ambos sexos carecen de tarsos anteriores. Individuos de color negro tostado con visos verdosos oscuros. Tamaño mediano (17- 20 mm) ..... *Sulcophanaeus steinheili*
- 3 (2). Brazo cefálico bipodal (Fig. 4A). Cuerpo totalmente metalizado, cobrizo a verde muy brillante. Proceso cefálico del macho coniforme muy largo y liso. Hembra con gran proceso cefálico bifurcado ..... *Sulcophanaeus laeander*
- 3'. Brazo cefálico monopodal (Fig. 4B). Cuerpo enteramente negro, poco brillante. Machos y hembras con procesos cefálicos coniformes, largos, aserrados en la parte posterior del ápice ..... *Sulcophanaeus faunus*
- 4 (1'). Pronoto del macho aplanado, con dientes ligeramente comprimidos a cada lado de la región anterior, parte posterior con dos protuberancias incurvadas a cada lado de la línea media (Fig. 4C) ..... 6
- 4'. Pronoto del macho diferente ..... 5
- 5 (4'). Pronoto y pigidio completamente metalizados, de color rojizo con visos verdosos o verde esmeralda muy vivo. Parte posteromedial del pronoto del macho con dos protuberancias anguladas negras, curvadas hacia adentro a ambos lados de la línea media ..... *Sulcophanaeus auricollis*
- 5'. Pigidio metalizado basalmente. Pronoto mayormente negro; metalizado antero- lateralmente. Pronoto del macho cóncavo en su mitad anterior; dos cuernos largos dirigidos anteriormente a cada lado del borde superior de la concavidad ..... *Sulcophaneus velutinus*
- 6 (4). Pronoto enteramente negro ..... *Sulcophaneus noctis*
- 6'. Pronoto verde a cobrizo ..... *Sulcophanaeus cupricollis*





**Figura 3.** A. Pata posterior de *Diabroctis*, señalando la carena subapical transversa B. Angulo anteromedial del metaesterno C. Angulo posteromedial del pronoto de *Oxysternon* D. Porción anterior de la margen pronotal de *Phanaeus* E. Porción anterior de la margen pronotal *Sulcophanaeus* F. Vista dorsal de cabeza y pronoto de *Diabroctis cadmus* (macho) G. Vista dorsal de cabeza y pronoto de *D. mimas* (macho) H. Genas carenadas junto al ojo I. Genas no carenadas junto al ojo J. Carena pronotal lateral de *S. laeander*.

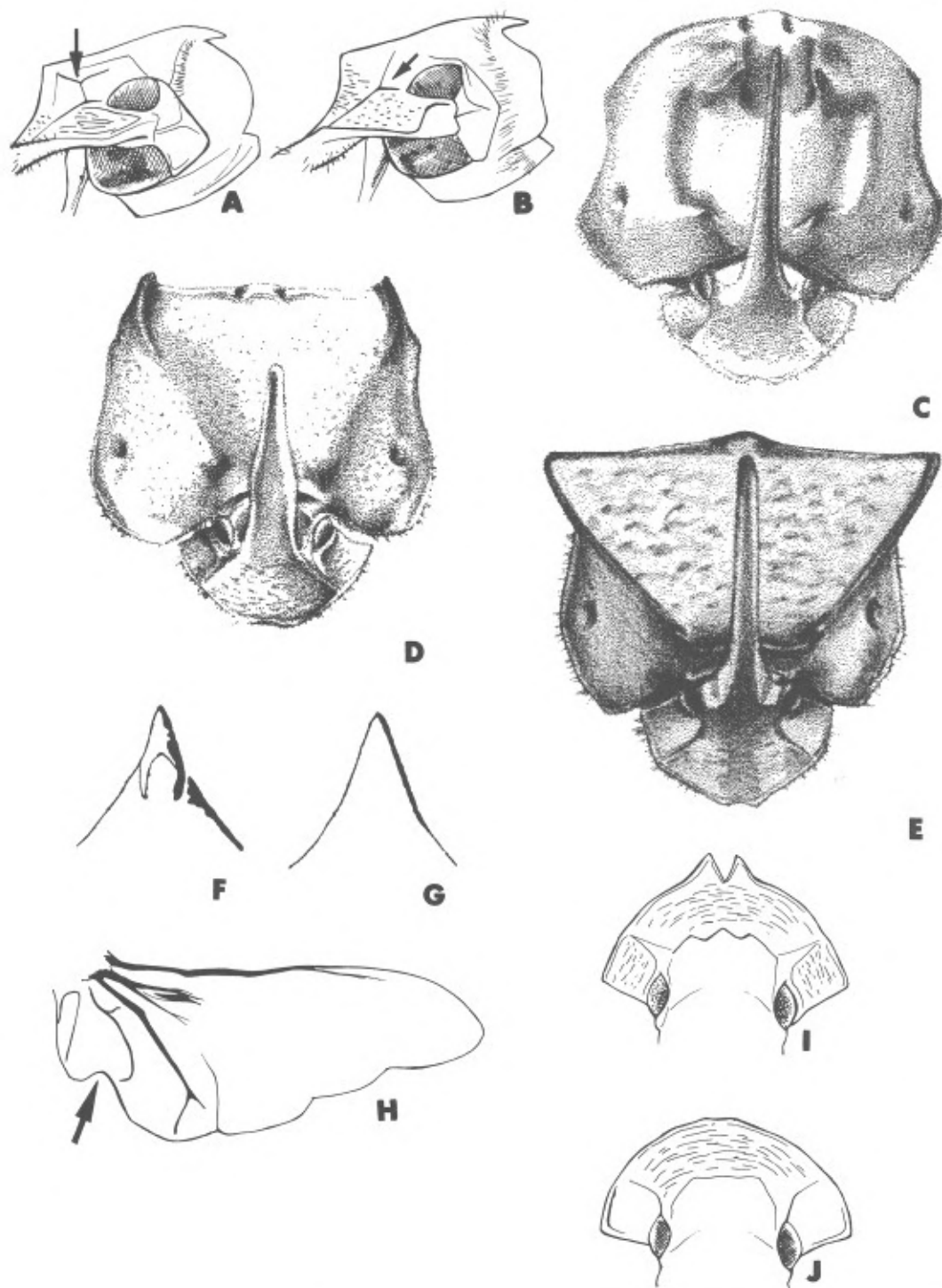
**Clave para la identificación de las especies del género*****Phanaeus* de Colombia**

1. Esculpido pronotal granulorugoso, consistente en aglomeraciones de puntos, semejando "ampollas negras" ó escamas ..... 2
- 1'. Esculpido pronotal completamente liso a simple vista; a veces con puntos muy pequeños y esparcidos en porciones anterolaterales, pero nunca con gránulos conspicuos ..... 6
- 2 (1). Pronoto de machos con ángulos posteriores agudamente tornados hacia arriba, ángulos anteriores llevando un tubérculo cónico (Fig. 4D); ángulo anteromedial del metaesternon con una pequeña carena en la punta ..... 3
- 2'. Pronoto de machos aplastado, ángulos posterolaterales se proyectan más allá de la margen lateral del pronoto, dándole una apariencia triangular (Fig. 4E); ángulo anteromedial del metaesternon acuminado, a veces engrosado pero nunca carenado en la punta ..... 4
- 3 (2). Interestrías elitrales opacas, casi planas; estrías con puntos visibles. Dorso café- cobrizo a rojizo brillante ..... *Phanaeus hermes*
- 3'. Interestrías brillantes y convexas; punteado de las estrías casi invisible, algunas veces sólo se evidencian bajo aumento. Dorso verde oscuro brillante ..... *Phanaeus prasinus*
- 4 (2'). Angulo anteromedial del metaesternon con un engrosamiento en forma de "V" (Fig. 4F). Parte basal del proceso cefálico del macho, ampliamente expandida lateralmente, angostándose abruptamente produciendo prominencias angulares. Pronoto de la hembra con pequeña concavidad anteromedial rodeada de cuatro tubérculos, el anterior más grande. Color verde- oliváceo opaco ..  
..... *Phanaeus chalcomelas*
- 4'. Angulo anterior del metaesternon no engrosado; base del proceso cefálico de machos sin expansiones laterales (Fig. 4G) ..... 5
- 5 (4'). Fosas pronotales basales casi borradas, en forma de punto muy pequeño. Color café- oliváceo ..... *Phanaeus cambeforti*
- 5'. Fosas pronotales basales siempre conspicuas. Coloración negra con marcas rojizas de extensión variable en el pronoto ..... *Phanaeus meleagris*

- 6 (1'). Ala membranosa con una muesca distintiva (Fig. 4H); estrías elitrales punteadas, pronoto del macho llevando una concavidad de cuya margen superior se proyecta un par de espinas largas, delgadas y dirigidas hacia delante. Pronoto de hembras con una concavidad profunda en cuya margen posterior lleva una espina simple en forma de dedo, que se proyecta anteriormente .....  
..... *Phanaeus bispinus*
- 6'. Ala membranosa sin muescas. Pronoto de machos y hembras diferente ..... 7
- 7 (6'). Clípeo bidentado (Fig. 4I). Pronoto de machos aplanado, de forma triangular, con ángulos posteriores prominentes. Pronoto de hembras uniformemente convexo, con una carena tuberculada transversa en la parte anterior. Color del pronoto rojo a rosado metalizado ..... *Phanaeus pyrois*
- 7'. Clípeo no bidentado (Fig. 4J). Pronoto de machos con ángulos posterolaterales proyectando un par de cuernos largos y convergentes; porción media cóncava. Pronoto de hembras con porción anterior cóncava y un par de espinas agudas y prolongadas. Color verde oscuro opaco ..... *Phanaeus haroldi*

**Clave para la identificación de las especies del género**  
***Oxysternon* de Colombia**

1. Porción anterior de la carena circumnotal borrada detrás del ojo (Fig. 5A). Brazo cefálico monopodal (Fig. 4B). Proceso cefálico de machos bituberculado. Pronoto de machos con dos largas espinas, dirigidas hacia delante y curvadas por encima de la cabeza. Pronoto de la hembra con un par de tubérculos. Tamaño pequeño (10- 11 mm) .....  
..... *Oxysternon spiniferum*
- 1'. Carena circumnotal completa, no borrada detrás del ojo (Fig. 5B). Brazo cefálico bipodal (Fig. 4A). Proceso cefálico de machos coniforme. Tamaño mayor a 15 mm ..... 2
- 2 (1'). Proceso clipeal transverso (Fig. 5C) ..... 5
- 2'. Proceso clipeal espiniforme (Fig. 5D) ..... 3
- 3 (2'). Colores rojo o verde claro muy vivos y brillantes con marcas negras de extensión variable .  
..... 4
- 3'. Color uniformemente verde muy oscuro a negro (ébano) poco brillante ..... *Oxysternon ebeninum*
- 4 (3). Color rojo vivo, muy brillante .....  
..... *Oxysternon festivum*



**Figura 4.** A. Brazo cefálico bipodal B. Brazo cefálico monopodal C. Vista frontal de la cabeza de *Sulcophanaeus noctis* (macho) D. Vista frontal de la cabeza de *Phanaeus hermes* (macho). E. Vista frontal de la cabeza de *P. meleagris* (macho) F. Angulo anteromedial del metaesterno de *P. chalconelas* G. Angulo anteromedial del metaesterno de *P. cambeforti* H. Muesca en ala membranosa I. Clípeo de *P. pyrois* J. Clípeo de *P. haroldi*.

- 4<sup>1</sup>. Color verde claro, muy brillante .....  
 ..... *Oxysternon conspicillatum*
- 5 (2). Segunda y la cuarta estría elitral ligeramente más largas que el resto. Proceso cefálico del macho coniforme con un débil estrechamiento en el medio; en algunos ejemplares en lugar de cuerno cefálico, un par de tubérculos .....  
 ..... *Oxysternon silenus*
- 5<sup>2</sup>. Estrías elitrales de igual longitud. Proceso cefálico del macho coniforme, sin estrechamientos; algunos machos presentan una carena transversa de dos nodos ..... *Oxysternon smaragdinum*

#### Clave para la identificación de las especies del género *Coprophaeus* de Colombia

1. Ala membranosa con una muesca distintiva (Fig. 4H); estrías elitrales simples (lisas o con pequeñas puntuaciones). Proceso cefálico de machos lamelado; hembra con carena cefálica trituberculada (tamaño no superior a 35 mm) ..... 2
- 1<sup>1</sup>. Ala posterior sin muescas; estrías elitrales bordeadas lateralmente por carenas onduladas. Proceso cefálico de machos y hembras coniforme. Tamaño grande (30- 50 mm) ..... *Coprophaeus lancifer*
- 2 (1). Porción anterior de la carena circumnotal borrada detrás del ojo (Fig. 5A) ..... 4
- 2<sup>1</sup>. Porción anterior de la margen circumnotal completa, no borrada detrás del ojo (Fig. 5B) ..... 3
- 3 (2<sup>1</sup>). Pronoto del macho con una carena trituberculada siendo el tubérculo medio más prominente; pronoto de la hembra con una fuerte depresión en la parte anterior, precedida de una carena angulada. Tamaño mediano a grande (27- 35 mm) .....  
 ..... *Coprophaeus jasius*
- 3<sup>2</sup>. Pronoto del macho con dos tubérculos llanos y redondeados en su parte delantera divididos por un surco; pronoto de la hembra con una carena pronotal pequeña y arqueada anteriormente. Tamaño pequeño (14- 17 mm) ..... *Coprophaeus parvulus*
- 4 (2). Pronoto completamente negro, sin reflejos metálicos ..... 5
- 4<sup>1</sup>. Área anterolateral del pronoto con reflejos verde ó azul- violeta metalizados ..... 6
- 5 (4). Lóbulos de la carena pronotal transversa en los machos con bordes engrosados. Depresiones laterales poco profundas ..... *Coprophaeus ohausi*

- 5<sup>2</sup>. Lóbulos de la carena pronotal transversa de los machos no engrosados, formando una estructura cuadrada, ligeramente proyectada hacia adelante. Depresiones laterales muy profundas .....  
 ..... *Coprophaeus morenoi*
- 6 (4<sup>1</sup>). Interestrías elitrales casi planas, excepto en las bases; uniformemente opacas .....  
 ..... *Coprophaeus telamon*
- 6<sup>2</sup>. Interestrías elitrales moderadamente convexas, opacas cerca de las estrías ..... 7
- 7 (6<sup>1</sup>). Carena frontal trituberculada, tubérculos laterales ligeramente más largos que el tubérculo medio. Depresiones laterales del pronoto separadas de las foveas laterales .....  
 ..... *Coprophaeus chiriquensis*
- 7<sup>2</sup>. Carena frontal trituberculada, todos los tubérculos de igual tamaño. Depresiones laterales del pronoto casi se confunden con las fosas laterales .....  
 ..... *Coprophaeus edmondsi*

#### Clave para la identificación de las especies del género *Dendropaemon* de Colombia

1. Tarsos medio y posterior de tres segmentos (Fig. 2B), cuerpo robusto .....  
 ..... *Dendropaemon waterhousei*
- 1<sup>1</sup>. Tarsos medio y posterior de dos segmentos (Fig. 2A); cuerpo alargado y aplanado dorsoventralmente ..... 2
- 2 (1<sup>1</sup>). Lóbulos del clípeo separados de los costados de las emarginaciones (Fig. 5E). Tamaño muy pequeño (7- 10 mm) ..... *Dendropaemon planus*
- 2<sup>2</sup>. Lóbulos del clípeo continuos con los costados de las emarginaciones (Fig. 5F). Tamaño pequeño (10- 12 mm) ..... *Dendropaemon telephus*

#### Agradecimientos

La autora agradece a David Edmonds y Fernando Fernández por su valiosa asesoría. A los encargados de las colecciones entomológicas visitadas: Nancy Carrejo, Alejandro Madrigal, Eduardo Flórez, Rodrigo Torres, Giovanni Fagua y Jorge Noriega. A las directivas e investigadores del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. A Juan Manuel Pardo por las ilustraciones, a Alejandro Lopera y Claudia Medina por su apoyo y a Paulina Muñoz por las correcciones del manuscrito.

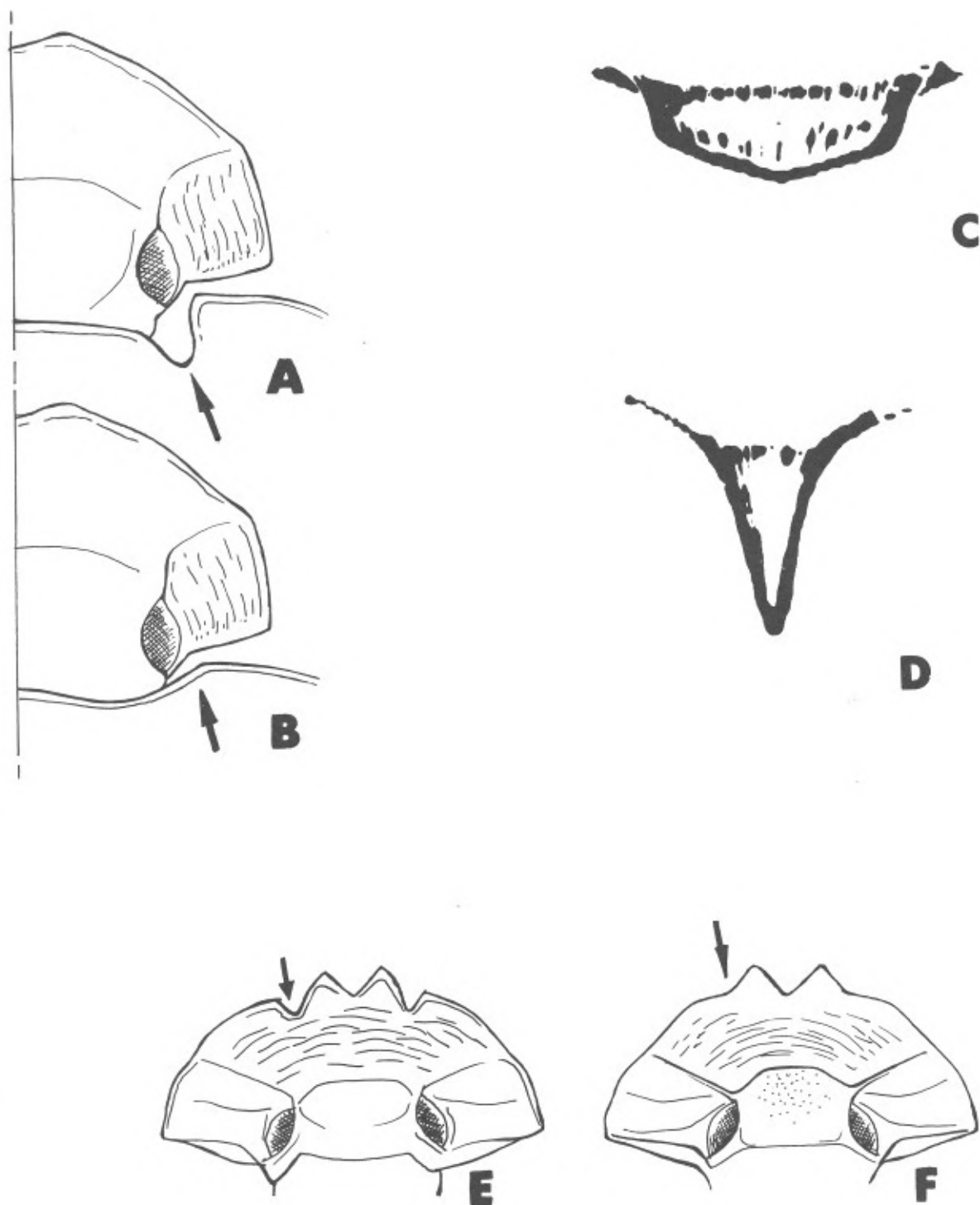


Figura 5. A. Carena circumnotal borrada detrás del ojo B. Carena circumnotal completa detrás del ojo C. Proceso clipeal transverso D. proceso clipeal espiniforme E. Clípeo de *Dendropaemon planus* F. Clípeo de *D. telephus*.

**Bibliografía**

- Arnaud, P.** 1997. Description de nouvelles espèces du Genre *Coprophanæus* Ols. Besoiro. Bulletin de liaison de l'Association Entomologique pour la Connaissance de la Faune Tropicale, 4: 4- 8.
- Blut, H.** 1939. Beitrag zur Verbreitung and Systematik der Gattung *Dendropaemon*. Archivs für Naturgeschichte (N.S.), 8: 263-300.
- Edmonds, W. D.** 1972. Comparative Skeletal Morphology, Systematics and Evolution on the Phanaeine Dung Beetles (Coleoptera: Scarabaeidae). The University of Kansas Science Bulletin, 49 (11): 731- 874.
- . 1994. Revision of *Phanaeus* MacLeay, a New World genus of Scarabaeinae dung beetles. (Coleoptera: Scarabaeidae, Scarabaeinae). Natural History Museum of Los Angeles County, Contributions in Science, 443:1- 105.
- Gill, B.** 1991. Dung Beetles in Tropical American Forests. En **Hanski, I. & Y. Cambefort (eds)**. Dung Beetle Ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 473 pp.
- Halfpter, G. & M. Fávila.** 1993. The Scarabaeidae (Insecta: Coleoptera) an animal group for analysing, inventoryng and monitoring biodiversity in tropical rainforest and modified landscapes. Biology International, 27: 15-21.
- Howden, H. & O. Young.** 1981. Panamian Scarabaeinae: taxonomy, distribuion, and habits (Coleoptera: Scarabaeidae). Contributions of the American Entomological Institute, 204 pp.
- Olsoufleff, G.,**1924. Les Phanaeides (Col.:Lamel.), Famille Scarabaeidae- Tr. Coprini. Insecta, 13: 4- 172.
- Pessoa, S.** 1934. Contribução para o conhecimento das especies brasileiras do gênero *Phanaeus* (Col. Scarabaeidae). Annaes Faculdade Medicina Sao Paulo, 10: 297-314.
- Vítolo, A.** 2000. Los Escarabajos Phanaeini (Coleoptera: Scarabaeidae: Coprinae) de Colombia. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana. Trabajo de Grado, 235 pp.

## INDICE DE AUTORES

Acero, Arturo	295	Méndez Ramírez, Gina Paola	25, 45
Anduckia Avila, Juan Carlos	505	Méndez H., Néstor	59
Ardila, Jorge I.	73	Montenegro, Gloria	193
Bermejo Barrera, Jaime	441	Mora Osejo, Luis Eduardo	311, 449, 457, 462, 603, 606
Berrío, Harold	85	Morales-Puentes, María Eugenia	499
Bohorquez, Amparo	73	Morrone, Juan J.	549
Bolaños, María Eugenia	85	Muñoz Collazos, Mario	157
Bueno, Alfredo	255	Murillo, José A.	359
Buriticá, Pablo	111	Navas, Gabriel R.	295
Cadena, Alberto	285, 383	Neira, Clara M.	101
Campos, Diógenes	521, 529	Nuñez Avellaneda, Marcela	493
Cataño, Ramiro	73	Ortiz Valdivieso, Pedro	57
Contreras, Mario	285	Papavero, Nelson	255
Cortés, Sandra	201	Páramo Rocha, Guillermo	477
Corzo, Jimmy	417	Pardo-Cardona, Victor Manuel	371
De las Salas, Gonzalo	205	Patarroyo, Pedro	279
Díaz, Juan M.	219	Pedraza, Paola	343
Díaz-Piedrahita, Santiago	24, 45, 247, 343.	Pelkowski, Joaquín	505
Duque, Santiago	493	Peña, Raúl	193
Escalante, Tania	325	Pérez Hernández, Roger	549
Espinosa, David N.	325, .....	Plata, A.	393
Fernández-Alonso, José Luis	173, 347	Pérez-Zabala, Jorge A.	347
García Olmos, Carlos	205	Rangel, J. Orlando	201
Gil, J.D.	393	Rodríguez, Paola A.	111
Giraldo-Cañas, Diego	183	Roldán, Gabriel	73
Giraldo-Tafur, Clara	5	Saavedra Díaz, Lina María	295
Giraldo H., Ramón	59	Sandoval, Luis	529
Gómez Torres, Emilse	417	Soberón, Jorge	325
González Garavito, Favio	51	Suarez-Mayorga, Angela	289
Guerrero, Berenice	427	Timmermann, Bárbara N.	193
Hammen van der, Thomas	201, 231	Toro González, Gabriel	158, 401
Idárraga Piedrahita, Alvaro	347	Torres, Y.	393
Iturraga, Liliana	193	Troncoso, Walberto	59
Laserna, Mario	535	Varela, Juanario	101
López-Victoria, Mateo	219	Vargas, Fernando	85
Lynch, John D.	129, 289, 435, 579	Vargas Ramírez, Mario A.	579
Llorente Bousquets, Jorge	255, 325, 549	Viloria, Angel	549
Mancera, José E.	59	Villarroel Arispe, Carlos	117
Martínez Guerrero, Yolima	383	Vitolo, Adriana	591
Maya, Héctor R.	521		

# CONSTITUCION DE LA ACADEMIA

## JUNTA DIRECTIVA

Período 2000 - 2002

Presidente	:	Luis Eduardo Mora-Osejo
Vicepresidente	:	Moisés Wasserman Lerner
Secretario	:	José A. Lozano-Iriarte
Tesorero	:	Inés Bernal de Ramírez
Bibliotecario	:	Víctor Albis-González
Director de la Revista	:	Santiago Díaz-Piedrahita

## MIEMBROS HONORARIOS

Luis Duque Gómez	Mohamed H. Hassan	Rodolfo R. Llinás
Carlo Federici Casa	Thomas van der Hammen	Angel M. Municio
Hernando Groot Liévano		

## MIEMBROS DE NUMERO

Sucesión de las sillas. Se distingue con asteriscos (\*) a los miembros fundadores y con un punto (O) a los académicos que han pasado a la situación de exnumerarios (Art. 15 de los Estatutos)

- † Jorge Acosta Villaveces - 1936\*.  
† Leopoldo Guerra Portocarrero - 1954.  
† Eduardo Acevedo Latorre - 1970.  
*Eduardo Calderón Gómez* - 1984.
- † Jorge Alvarez Lleras - 1936\*  
O Alfonso Tribín Piedrahita - 1967.  
*Vacante*
- † Antonio María Barriga Villalba - 1936\*.  
† Kalman C. Mezey - 1957.  
*Lorenzo Panizzo Durán* - 1984.
- † Alberto Borda Tanco - 1936\*.  
† Hernando Franco Sánchez - 1960.  
*Manuel del Llano Buenaventura* - 1986.
- † Julio Carrizosa Valenzuela - 1936\*.  
† Eduardo Caro Caycedo - 1976.  
*Jairo Mojica Corzo* - 1997.
- † Víctor E. Caro - 1936\*.  
*Jorge Arias de Greiff* - 1966.
- † Luis Cuervo Márquez - 1936\*.  
† Daniel Mesa Bernal - 1960.  
*Jesús A. Eslava Ramírez* - 1995.
- † Federico Lleras Acosta - 1936\*  
† Andrés Soriano Lleras - 1957.  
*Gabriel Toro González* - 1976.
- † Ricardo Lleras Codazzi - 1936\*  
Luis Duque Gómez - 1960 (H).  
*Vacante*
- † Rafael Torres Mariño - 1936\*.  
Hernando Groot Liévano - 1966 (H).  
*Vacante*
- † César Uribe Piedrahita - 1936\*.  
† Clemente Garavito Baraya - 1970.  
*Vacante*
- † Darío Roza Martínez - 1936\*.  
*Luis Guillermo Durán Solano* - 1970.
- † Calixto Torres Umaña - 1936\*.  
† José María Garavito Baraya - 1970.  
*Humberto Rodríguez Murcia* - 1993.
- † Luis María Murillo Quinche - 1936\*  
† Hno. Daniel González Patiño - 1976.  
*Víctor Samuel Albis González* - 1992.
- † Enrique Pérez Arbeláez - 1936\*.  
† Gerardo Reichel Dolmatoff - 1973.  
*Alicia Dussan de Reichel* - 1994.
- † Luis López de Mesa - 1937.  
*Luis Eduardo Mora Osejo* - 1970.
- † Luis Patiño Camargo - 1937.  
† Guillermo Castillo Torres - 1983.  
*Vacante*
- † Daniel Ortega Ricaurte - 1938.  
O Alberto Morales Alarcón - 1970.  
*Vacante*
- † Julio Garzón Nieto - 1939.  
† Gustavo Perry Zubieta - 1970.
- † *Hernando Dueñas Jiménez* - 1989.
- † Ernesto Osorno Mesa - 1939.  
*Luis E. Gaviria Salazar* - 1981.
- † Armando Dugand Gneco - 1941.  
† Alvaro Fernández Pérez - 1973.  
*Enrique Forero González* - 1997
- † Alfonso Esguerra Gómez - 1944.  
† Carlos Páez Pérez - 1970.  
*Santiago Díaz Piedrahita* - 1988.
- † Jesús Emilio Ramírez - 1944.  
*Julio Carrizosa Umaña* - 1983.
- † Luis H. Osorio - 1944.  
† Antonio Olivares - 1966.  
† José Rafael Arboleda C. - 1982.  
*Carlos Corredor Pereira* - 1996.
- † Fabio González Tavera - 1945.  
† Eduardo Rico Pulido - 1970.  
*Carlos E. Acosta Arteaga* - 1973.
- † Eduardo Lleras Codazzi - 1945.  
† Sven Zethelius Pañalosa - 1966.  
*Augusto Rivera Umaña* - 1996.
- † Marcelino de Castellvi - 1945.  
† Francisco Lleras Lleras - 1970.  
† Alvaro Torres Barreto - 1990.  
*Margarita Perea Dallos* - 1996.
- † Manuel José Casas Manrique - 1945.  
*María Teresa Murillo Pulido* - 1975.
- † Belisario Ruiz Wilches - 1946.  
*Moisés Wasserman Lerner* - 1992.
- † Guillermo Muñoz Rivas - 1950.  
*Paulina Muñoz Vila* - 1994.
- † Jorge Ancizar Sordo 1951.  
*Eduardo Posada* - 1993.
- † Alfredo Batemán 1951  
*Carlos E. Vasco Uribe* - 1992.
- † Jorge Bejarano - 1951.  
† Gabriel Sanín Villa - 1970.  
O Jaime Ayala Ramírez - 1973.  
*Vacante*
- † Vicente Pizano Restrepo - 1952.  
*José A. Lozano Iriarte* - 1992.
- † Luis Augusto Cuervo - 1952.  
† Santiago Triana C. - 1970.  
*Gonzalo Correal Urrego* - 1984.
- † José Ignacio Ruiz - 1952.  
*Gerardo Pérez Gómez* - 1995.
- † Lorenzo Uribe Uribe - 1952.  
*Inés Bernal de Ramírez* - 1986.
- † Carlos Ortíz Restrepo - 1956.  
*Eduardo Brieva Bustillo* - 1980.
- † Augusto Gast Galvis - 1957.  
*José Luis Villaveces Cardoso* - 1988.
- O Hernando J. Ordóñez - 1957.  
*Vacante*