

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

LA ACADEMIA ES ORGANO CONSULTIVO DEL GOBIERNO NACIONAL

VOLUMEN XVII

FEBRERO DE 1989

NUMERO 64

PATRONO DE LA ACADEMIA:  
SEÑOR PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

PRESIDENTE DE LA ACADEMIA:  
LUIS EDUARDO MORA-OSEJO

DIRECTOR DE LA REVISTA:  
JULIO CARRIZOSA UMAÑA

## SUMARIO

	Págs.		Págs.
Nota del Director . . . . .	5	El sistema natural terrestre, por <i>Jean L. F. Tricart</i> . . . . .	79
A propósito del Año de la Ciencia y la Tecnología, por <i>Luis Eduardo Mora-Osejo</i> . . . . .	7	Características de la insolación (Brillo solar) en la cuenca del Cauca Superior, por <i>Jesús Eslava R.</i> . . . . .	87
Segunda conferencia general de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo sobre cooperación en ciencias sur-sur, norte-norte, por <i>Luis Eduardo Mora-Osejo</i> . . . . .	11	Cambios en la Amazonia colombiana en los últimos 300 años, por <i>Julio Carrizosa Umaña</i> . . . . .	119
Discurso del presidente de la Academia, doctor Luis Eduardo Mora-Osejo, con motivo de la entrega de los Premios en Ciencias 1987 . . . . .	15	Estudios tectónicos de la parte sur de México, por <i>A. E. Scheidegger</i> . . . . .	125
Discurso del presidente de la Academia, doctor Luis Eduardo Mora-Osejo, con motivo de la entrega de los Premios en Ciencias 1988 . . . . .	17	Panorama histórico de la geología colombiana entre 1880 y 1980, por <i>Armando Espinosa B.</i> . . . . .	133
Ciencia y cultura: la discontinuidad de la energía, por <i>José Luis Villaveces C.</i> . . . . .	19	La obra de Pierre Bouguer en la Nueva Granada y el descubri- miento de la gravimetría, por <i>Armando Espinosa B.</i> . . . . .	137
Dos nuevos grupos piagetianos en la lógica elemental, por <i>Carlos E. Vasco Uribe</i> . . . . .	29	Discurso pronunciado por el presidente de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales doctor Luis Eduardo Mora-Osejo con ocasión del homenaje póstumo que la Universidad de La Salle rindiera al Hno. Daniel González Patiño . . . . .	143
Diferencias de variables binomiales, por <i>Gabriel Poveda Ramos</i> . . . . .	41	Informe del presidente de la Academia Colombiana de Cien- cias Exactas, Físicas y Naturales, doctor Luis Eduardo Mora-Osejo, sobre el desarrollo de la II Conferencia Gene- ral de la Academia del Tercer Mundo. . . . .	147
Estudios de invasión del parásito <i>Plasmodium falciparum</i> a fantasmas de eritrocitos humanos, por <i>Moisés Wasserman, Juan Crosby y Gladys Arreaza</i> . . . . .	51	Twas second general conference "Future of science in China and in the third world". . . . .	153
Genética de poblaciones en el trópico americano XXIV. Cri- ticas a la teoría sintética: ¿Aislamiento reproductivo, gradual o abrupto?, por <i>H. F. Hoenigsberg</i> . . . . .	61	Informe de actividades (1987-1988) . . . . .	157
Ethnopharmacological conservation in South America: A key to progress in medicine, por <i>Rihard Evans Schultes Ph.D., F.L.S.</i> . . . . .	71		

(La responsabilidad de las ideas emitidas en la Revista corresponde a sus autores. La colaboración es solicitada. No se devuelve la colaboración espontánea ni se mantiene correspondencia sobre ella).



EMBLEMA DE LA ACADEMIA MATRIZ ESPAÑOLA

SEDE DE LA ACADEMIA: CARRERA 3a. A No. 17-34  
APARTADO AEREO 44763 — BOGOTA 1. D.E., COLOMBIA

# A PROPOSITO DEL AÑO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA

*Por Luis Eduardo Mora-Osejo\**

MIENTRAS QUE EN LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS SE LLEVA A CABO LA REVOLUCION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA, EN COLOMBIA ES TODAVIA INCIPIENTE EL PROCESO DE ESTRUCTURACION DE UNA COMUNIDAD CIENTIFICA COHERENTE Y DINAMICA, IMPULSORA DE LA CIENCIA EN NUESTRO MEDIO, CAPAZ DE DESARROLLAR EN SU INTERIOR SISTEMAS DE VALIDACION, RECONOCIMIENTO Y DIFUSION DEL TRABAJO DE SUS MIEMBROS. ESTO TRAE COMO CONSECUENCIA QUE LA BRECHA QUE NOS SEPARA DE LOS PAISES CREADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGIA SE AMPLIE CADA VEZ MAS.

Entre las distintas estrategias convenidas por las comunidades científicas para optimizar la intercomunicación, llenar vacíos en la información, reflexionar sobre determinados problemas o, en fin, probar metodologías de trabajo, previamente unificadas, se cuenta la de fijar un determinado período generalmente un año, durante el cual los científicos, al lado de sus ocupaciones habituales, se dedican a cumplir las actividades previstas en los objetivos que se haya acordado desarrollar en tal lapso.

En buena hora, el Gobierno Nacional, acogiendo una iniciativa de la comunidad científica, decidió declarar el período comprendido entre julio de 1988 y julio de 1989, como el "Año de la Ciencia y la tecnología en Colombia", con el fin de reflexionar tanto al interior de la comunidad científica como de la opinión pública sobre las formas de promover la ciencia y la tecnología en nuestro medio e insistir sobre la necesidad de crear una conciencia en la opinión pública y en los dirigentes de los sectores público y privado, sobre el papel

decisivo que corresponde a la ciencia y a su complemento moderno inseparable, la tecnología, no solamente en lo que tiene que ver con la producción económica, sino particularmente, con el ascenso cultural y con el afianzamiento de la independencia de nuestra nación, en todos los órdenes.

En mi opinión, dos hechos singulares contrastantes hacen aún más urgente la necesidad de que los colombianos reflexionemos sobre la situación de la ciencia y la tecnología en nuestro país.

La llamada revolución científica y tecnológica que se iniciara en los países industrializados, se expande por igual en todas las naciones del orbe y crea situaciones de dominio o dependencia, según sea el país respectivo creador y consumidor o simplemente consumidor de ciencia y tecnología. Desafortunadamente, nos encontramos entre los países de esta última categoría, al menos en buena parte.

En segundo lugar, no se puede ignorar el hecho de que a lo largo de la historia de la nación colombiana, no se ha puesto el debido interés y realizado los esfuerzos necesarios para el desarrollo de la ciencia y la tecnología, de donde resulta que tanto en el sector público como en el privado, el espacio estatuido para el desarrollo de estas actividades es supremamente estrecho.

Varias son las consecuencias negativas concretas que se derivan de esta situación, y que inciden directa o indirectamente sobre el trabajo de nuestros científicos. Así, no obstante los esfuerzos realizados en las últimas décadas por el Estado colombiano para irrigar mayores recursos destinados a la financiación de proyectos de investigación, el equipamiento adecuado de los laboratorios resulta cada vez más difícil; la intercomunicación con los centros científicos de otros países y el acceso a las fuentes de información son aún precarios. Cada vez

---

\* Presidente, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

resulta más complicado obtener recursos financieros y logísticos para el establecimiento de "Escuelas de Investigación", es decir, de equipos de personas dedicadas por entero al abordamiento de un problema científico o al diseño de una nueva tecnología. Como es bien sabido, los descubrimientos científicos, en la hora presente, no resultan del esfuerzo aislado de un solo individuo, por genial o imaginativo que sea; además de los hombres lúcidos, desde luego, indispensables para la creación científica, se requiere el apoyo de técnicos de laboratorio y ayudantes, así como de administradores al servicio de estas escuelas.

El proceso de estructuración de una comunidad científica coherente y dinámica, impulsora de la ciencia en nuestro medio, capaz de desarrollar en su interior sistemas de validación, reconocimiento y difusión del trabajo de sus miembros, es todavía incipiente. No es sorprendente, por consiguiente, que la brecha que nos separa de los países creadores de ciencia y tecnología se amplía cada vez más.

Desde luego, estos hechos no habrán de desanimarnos o sumirnos en el más hondo pesimismo; si se los señala aquí, es para definir dónde nos encontramos, desde qué punto partimos, cuáles son las direcciones en las que la propia comunidad científica y particularmente el Estado, impulsado por una gran voluntad política, habrá de dirigir sus esfuerzos para esperar la situación descrita. Entre mayor claridad tengamos sobre los antecedentes que nos condujeron a la situación presente, más próximos estaremos de culminar las metas que nos proponemos en el proceso de modificar tal situación.

De ahí, que entre las reflexiones que habrá de hacer la comunidad científica sobre la situación de la ciencia y la tecnología en nuestro país, tendrá que figurar, necesariamente, la cuestión relacionada con el desenvolvimiento histórico de la ciencia en nuestro medio y sus interrelaciones estrechas con el desarrollo de la cultura en general. A manera de aporte a tales reflexiones, tocaré en seguida algunos puntos, así sea someramente que, a mi modo de ver, resultan en el sentido expuesto relevantes.

Cabe recordar, en primer término, que España y Portugal no participaron en el movimiento intelectual, que a partir del siglo XVI dio origen en Europa a la ciencia y la tecnología modernas y que además por razones políticas bien conocidas, impidieron que las influencias de tal movimiento alcanzaran sus colonias en América. Por otra parte, salvo excepciones individuales meritorias, no se preocuparon por valorar, conservar e incorporar el saber de los aborígenes a la cultura preponderante de la sociedad colonial.

Desde el momento en que las metrópolis sometieron a los pueblos indígenas que poblaban nuestro territorio, el patrón cultural de estirpe Ibero-mediterráneo ha predominado en nuestro medio. A pesar de ello, algunos rasgos culturales y conocimientos de los pobladores indígenas sobre la

realidad, obtenidos a través del milenario interactuar con el entorno, lograron sobrevivir hasta nuestros días y hacer sentir sus influencias, particularmente, en los sectores artesanales, campesinos e indígenas, de nuestra población. Precisamente este dualismo, forjado a lo largo de la Colonia, configuró el fenómeno de la "superposición cultural" que ha marcado nuestro devenir histórico, desde los tiempos mismos de la Conquista.

Si bien es cierto que no existe claridad sobre cuáles son los rasgos o patrones culturales que favorecen el surgimiento de una atmósfera propicia para el florecimiento de la ciencia, lo cierto es que la práctica histórica muestra que los factores económicos, sociales y culturales predominantes en una sociedad dada, afectan el desarrollo científico y viceversa; no obstante la universalidad de los principios metodológicos de la ciencia. La superposición cultural en cuanto implica cultura dominante y dominada agudizó, a lo largo de la Colonia, la estratificación horizontal de la población en clases sociales, la creación de barreras y discriminación de grupos. Tal marco cultural sumado a la indiferencia por la ciencia y al fanatismo religioso de la cultura predominante, de manera alguna favoreció el surgimiento de un sistema de valores compartido por todos los asociados; fuente de inspiración de las metas por alcanzar en el proceso histórico de superación de la sociedad. Tal situación, tampoco pudo favorecer el desarrollo de la ciencia, máxime si se tiene en cuenta que la superposición cultural no solamente significó desprecio de los pobladores indígenas sino de sus conocimientos y cultura.

Los pueblos aborígenes de América, como todos los pueblos de la tierra, comenzaron a utilizar, a partir de algún momento de su historia, su capacidad de aprehender las condiciones de su entorno y de modelarlas de acuerdo con sus necesidades, como estrategia insustituible de supervivencia y luego como sustento de su cultura. Poco a poco, aprendieron también a captar las regularidades de los fenómenos naturales y a aprovechar tal capacidad para predecir consecuencias y solucionar problemas concretos de la realidad, en materia de agricultura, medicina, minería, caza, vestuario, arquitectura, entre otros.

Solamente en las postrimerías de la Colonia, bajo el reinado del monarca borbón Carlos III, la metrópoli española intentó también aproximarse al conocimiento científico de los recursos naturales de América. Como consecuencia de ello, en Colombia se estableció bajo la dirección de José Celestino Mutis, la Expedición Botánica, cuyo espíritu y prospectos se prolongaron luego a través de Francisco José de Caldas, Salvador Rizo, Francisco Javier Matís, Jorge Tadeo Lozano, entre otros ilustres neogranadinos; posteriormente, ya en la República, a través del establecimiento de la Comisión Corográfica y de la Universidad Nacional, con sus institutos dedicados a la investigación científica. Pero estos logros, de suyo meritorios, no

tuvieron a la postre ni el marco cultural, ni las condiciones socioeconómicas propicias que aseguraran su persistencia y su consolidación, como punto de apoyo para el desarrollo de las ciencias a lo largo de los siglos XIX y XX.

De haber ello ocurrido, cuán diferente sería la situación, en nuestro país, de la ciencia y de la tecnología en los días que nos alcanzan. No solamente se habría podido consolidar un acervo de conocimientos sobre nuestro entorno natural y sus recursos, sino en particular, sobre nosotros mismos, sobre nuestro devenir cultural, sobre nuestra historia y sobre nuestra posición en el concierto de los pueblos de la tierra. Desde entonces, se hubiera podido comenzar a tender la red de puentes intercomunicantes entre los patrones culturales antagónicos y poner en marcha el proceso de su fusión y síntesis. En tal medida, hubiera sido también posible crear las condiciones para el forjamiento paulatino de un sistema de valores y de una sabiduría propios, tan necesarios para definir nuestra identidad cultural y apuntalar nuestra independencia en

todos los órdenes. Asimismo, se habría abierto el camino para fundamentar nuestro sistema educativo en los principios de la pedagogía participativa que busca ante todo desarrollar la creatividad y con ella la posibilidad de ampliar el aporte efectivo y el protagonismo de cada individuo, en el desarrollo de la sociedad. Finalmente, la revolución científica y tecnológica de la segunda mitad del siglo XX nos hubiese encontrado preparados para asimilarla y adecuarla creativamente a nuestros propios designios.

Por fortuna, en los últimos años han aparecido signos favorables, indicativos de la proximidad de un despegue irreversible de la ciencia y de la tecnología en nuestro medio. De la magnitud del compromiso que asuma el Estado en tal empresa y de las respuestas positivas de la comunidad científica, dependerá en gran medida que ello sea así.

Las actividades que se desarrollen con ocasión del Año de la Ciencia y la Tecnología, demostrarán, que uno y otra estarán a la altura de sus respectivas responsabilidades.

# SEGUNDA CONFERENCIA GENERAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DEL TERCER MUNDO SOBRE COOPERACION EN CIENCIAS SUR-SUR, NORTE-SUR

## La situación institucional y financiera de la investigación científica en Colombia

Por *Luis Eduardo Mora-Osejo\**

### ABSTRACT

The scientific tradition of Colombia goes back to the end of eighteenth century, when Spain founded an Institution called "Expedición Botánica" for surveying natural resources and to produce the cartography of its territory and monographic studies of the Flora and Fauna of the country.

With the political Independence from Spain this scientific enterprise was almost lost even though in the past century some attempts were made for its reestablishment.

So, modern Science Institutionalization in Colombia begins in the year 1935, when the Universidad Nacional and with it other research institutes were reestablished.

In the year 1969, a Governmental agency called COLCIENCIAS was created for giving financial support to Research-Projects presented by Universities and other scientific Institutions.

So, at present, Colombia has 139 Institutions somehow related with the development of Science and/or Technology. These Institutions include 792 operational Unities and of these, 86 are engaged in scientific Research activities: 21 basic science; 10 engineering, 10 medicine, 13 agriculture, 25 social sciences, and 7 different other disciplines.

In the year 1978, 7.915 persons worked in 2.139 Research-projects; of these, 3.404 were scientists, 704 technicians and 463 preparators and other operational assistants. In the year 1985 the number of scientists increased to 6.900 and the number of Research-projects to 2.300. For the last two years there are not available statistical data.

In 1978 the official financial support to scientific research amounted US\$8 millions while in 1982 they were

already US\$21 millions, but in 1985 only US\$18 millions due to the economical crisis which affected almost all latinamerican countries. The last figure represents 0.12% of the national income. This figure is indeed too far from the 1% level, which is supposed to be necessary for the country to prepare for filling the gap in relation with developed countries even those of the latin american and caribbean region.

The governmental support in the years 1978 and 1985 represented 91% of the total expenses for research activities in the country. Universities carry out 57% if the total amount of research projects.

The average amount invested in each project in 1985 was US\$18.000. In the same year 938 projects were carried out in state Universities, while only 202 in private Universities.

A very high percentage (83%) of the Projects are applied Science oriented, while basic Science presents only 9.2% of the total amount.

Eventhough most of the projects are applied science oriented, their results are not transferred to the economical productive system of the country, particularly to local industry. This system depends rather largely from the technological transference from high industrialized countries. Maybe, this is one of the main reasons why local Science has not yet reached the necessary prestige and recognition by the general public and by many local politicians, who are mainly interested in short term results.

The general quality of our educational methods is still low. In my opinion, this is directly related with the marginal position which occupies Science in our society. Repetitive, memoristic learning is still predominant. Pedagogic methods which imply reflexive and critical thinking, at the same time necessary for creative work, are not extensively apply at the different educational levels.

\* Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Profesor Titular, D.E. Universidad Nacional de Colombia.

Under these circumstances, interdisciplinary scientific work, so necessary for solving problems related with social and economical development of the country has not yet been possible to implement and to develop successfully.

However, one must recognize that in the last two decades, significant progress has been achieved to improve the institutional infrastructure necessary for scientific research and training of students and young scientists.

Trough Institutional and Individual cooperation between latin american countries, using, among others means, the Third World Academy of Sciences Programs will help, in my opinion, to find appropriate ways for strengthening Science in our region.

De acuerdo con los censos efectuados por COLCIENCIAS, Colombia cuenta con 139 entidades relacionadas, directa o indirectamente, con actividades científicas. Estas instituciones, ya sea por su status legal o por las funciones que desempeñan, son de naturaleza diferente. Cuarenta y tres de ellas son universidades y es en ellas donde se lleva a cabo el mayor número de Proyectos de Investigación. Existen además 23 institutos oficiales dedicados a la Investigación Científica, los cuales, conjuntamente con las universidades, constituyen el principal soporte de la investigación científica. A las Instituciones nombradas se suman 31 Entidades de Gobierno, 29 Establecimientos de Servicios Científicos y 3 establecimientos del sector productivo.

Sin embargo, la actividad principal que realizan estas Instituciones no es la Investigación científica, entendida ésta como el conjunto de actividades dirigidas a la ampliación del conocimiento científico o técnico, sino también la prestación de servicios científicos y tecnológicos a la comunidad.

Se entiende por Servicios Científicos y Tecnológicos, la aplicación de los conocimientos de uno y otro campo, a la descripción o análisis de hecho o fenómeno empírico aislado, tales como estudios monográficos descriptivos. En contraste, el objetivo de la investigación científica es el hallazgo de nuevos conocimientos, esto es, explicaciones generalizables de los hechos o fenómenos, o procesos, bajo análisis.

Las 139 Instituciones están estructuradas en 792 Unidades, pero nuevamente no todas ellas tienen que ver con actividades científicas. Las 792 Unidades se distribuyen así: 119 corresponden a entidades del gobierno, 385 a las Universidades, 93 a Institutos o Centros de Investigación, 145 a establecimientos de Servicios Científicos y Tecnológicos y 50 a establecimientos del sector productivo.

El 35.1% de las 792 Unidades se dedican a prestación de Servicios Científicos, únicamente el 10.9% a actividades de Investigación. Esta estructura no ha experimentado grandes modificaciones en los últimos años y en términos generales, es la que perdura desde 1978.

El 10.9% está representado, en número de Unidades, así: Ciencias básicas 21, Ciencias de la Ingeniería 10, Ciencias de la salud 10, Ciencias agropecuarias 13, Ciencias sociales 25, otras multidisciplinarias 7.

En total, se tienen 86 Unidades dedicadas a la investigación científica, o hallazgo de nuevos conocimientos. Esta cifra contrasta con el número de las Unidades dedicadas a otros aspectos de la Ciencia. Así, a la prestación de Servicios Científicos se dedican 278 Unidades, a las labores de Difusión 85, a la Administración 11 y a las de Educación 332 Unidades.

## EL PERSONAL Y LOS PROYECTOS DE INVESTIGACION

Colombia contaba en 1978 con una población estimada de 25.104.217 habitantes, de los cuales se consideraban económicamente activos 8.534.743. Por consiguiente, la tasa de participación económica era del 34%. En las 139 Entidades dedicadas a actividades relacionadas de alguna manera con la Ciencia, trabajaban, aproximadamente, 194.592 personas, o sea el 2.3% de la fuerza laboral del país, de los cuales 37.185 eran profesionales, algunos de ellos con títulos de post-grado, y 35.115 con títulos de técnicos intermedios. De esta cifra resulta que ya en ese mismo año, por cada profesional existía únicamente un solo técnico, poniendo presente la falta enorme de personal técnico vinculado a las Unidades de Investigación Científica. Esta falta de personal técnico conduce a la subutilización del personal egresado de las carreras científicas y de los Postgrados y configura una de las fallas más protuberantes de nuestro sistema Institucional de Investigación Científica.

Las cifras anteriores se refieren a actividades relacionadas directa o indirectamente con la ciencia. En cuanto a la investigación científica, propiamente dicha, cabe anotar que en las 139 Instituciones trabajaban en 1978, 7.915 personas, en 2.139 proyectos de investigación. De estas personas el 57.8%, o sea, 4.571 eran científicos, técnicos y auxiliares.

En 1978, de las 4.571 personas vinculadas a la investigación científica, 3.404 eran investigadores, 704 personal técnico y 463 personal auxiliar. Las 7.915 personas vinculadas a actividades relacionadas con la Ciencia, se distribuían, en las distintas áreas, así: Ciencias básicas 23%, Ingenierías 22%, Salud 16%, Agropecuarias 10.4%, Sociales 26.7%, Multidisciplinarias 1.8%.

En los años 1982 y 1985, el número de Investigadores asciende a 4.769 y 6.900 respectivamente. Para estos mismos años el número de Proyectos fue de 1.771 y 2.300 respectivamente. Para los años de 1986 y 1987, no se dispone aún de datos estadísticos globales, pero, de acuerdo con los estimativos de COLCIENCIAS, estas cifras no han experimentado modificaciones sustanciales.

## RECURSOS FINANCIEROS

El presupuesto destinado a las 139 Entidades vinculadas directa o indirectamente con actividades científicas, del año 1978, fue de \$167.128.716.000. Los fondos provenían del Presupuesto Nacional, del crédito nacional, por ventas y/o prestación

de bienes y servicios, por venta de activos fijos y por donaciones de organismos externos. La mayor parte del presupuesto se utiliza en atender el pago de los Servicios Personales, tales como sueldos y salarios de los trabajadores, del personal docente, de los investigadores, así como en sufragar gastos generales, gastos de operación y de inversiones. En la cifra anterior se incluyen también los dineros que se destinan para el financiamiento total o parcial de los proyectos de Investigación científica, y Desarrollo Experimental. A esto último, en 1978, se asignó la suma de \$805'372.000; en 1982, \$2.754'273.000, y en 1985, \$2.410'460.000. La cifra indicada para 1978, representa el 0.09% del Producto Interno Bruto (PIB), según las estadísticas del DANE (Departamento Nacional de Estadísticas). Cantidad exigua si se la compara con las de otros países de América Latina y, sobre todo, alejada de la meta señalada para los países en desarrollo, del 1% del PIB, si se pretende superar la situación de atraso y particularmente cerrar la brecha que nos separa de los países industrializados ricos del hemisferio norte.

Según las estadísticas globales disponibles para el año de 1982 y 1985 esta situación mejoró ligeramente. En 1982 el gasto en el desarrollo de Proyectos de Investigación representó el 0.11% del Producto Interno Bruto y en 1985, el 0.12%.

## RECURSOS FINANCIEROS Y PROYECTOS

Los recursos financieros asignados en 1978 a los 2.139 Proyectos fue de \$2.991'117.000, o sea el 1.8% de los recursos financieros totales de que dispusieron las 139 Instituciones. Esta cifra equivalió al 0.3% del Producto Bruto.

El mayor aporte financiero provino de las Instituciones públicas nacionales, es decir, el 91.3%. Los proyectos más costosos, como ha ocurrido siempre, se llevaron a cabo en los Institutos de Investigación oficiales. En actividades de Investigación Científica, propiamente dicha, y Desarrollo Experimental, se gastó en 1978, cerca del 27% del presupuesto total, asignado a los 2.139 Proyectos, o sea algo más de la cuarta parte (\$805'372.000).

El mayor número de los Proyectos de Investigación y Desarrollo Experimental se llevó a cabo, como sigue ocurriendo, en las Universidades. De los 2.139 Proyectos, 1.214, o sea, el 56.7%, se desarrollaron en el sector universitario. A investigación y Desarrollo Experimental corresponden 1.282 Proyectos. Cinco de las 43 Universidades existentes, contratan el 68.5% de los Proyectos. Tales Universidades son las siguientes: Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Valle, Universidad de Antioquia, Universidad de los Andes y Universidad Industrial de Santander.

En 1982 se observa un ascenso notable en el número de Proyectos de Investigación; probablemente a raíz del empréstito contratado por el Gobierno con el BID. En este año se estaban desarro-

llando 1.771 Proyectos, con un costo total de \$2.754'273.000, o sea, con un costo promedio por Proyecto de \$1'555.208, mientras que en 1985 se desarrollaban ya 2.300 Proyectos con un costo promedio por Proyecto de \$3'013.075.

## EL SISTEMA NACIONAL DE INVESTIGACION

De las 139 Instituciones que en Colombia desarrollan actividades de alguna manera relacionadas con el desarrollo de la Ciencia, 93 cumplen, directamente, tareas de investigación científica o tecnológica. En 1978, los 3.404 investigadores se distribuyen en esas 93 Instituciones. Para 1982 el número de Investigadores era de 4.769 y en 1985 ascendió a 6.900. Tanto en 1982, como en 1985 trabajaban 3 investigadores por Proyecto en promedio.

Son estas 93 instituciones las que ya en 1978 conformaban y, continúan conformando, el Sistema Nacional de Investigación y Desarrollo Experimental en Colombia.

Si se analiza el número de investigadores y su distribución en las distintas áreas de la Ciencia, se tiene que a lo largo de la última década el número de investigadores de las Ciencias Básicas (Matemáticas, Química, Física, Biología), tiende a aumentar. Probablemente, a raíz del establecimiento, a partir de 1965, de Facultades de Ciencias en las Universidades y de Currícula para la formación de Profesionales en estas áreas.

En 1972, el mayor número de Investigadores correspondía al Sector Agropecuario, con el 30.5%; pero en los últimos años se observa un descenso notable, en este sector, particularmente, a partir de 1985, cuando el número de investigadores del sector representa apenas el 9.3%. Esta cifra es realmente alarmante, toda vez que el sector agropecuario requiere, quizá como ningún otro, el aporte urgente de la investigación científica para elevar la producción masiva de alimentos de una población en permanente expansión.

En las Universidades públicas, el 38.1% de los investigadores poseen estudios de post-grado. En las Universidades privadas el 60.3%. Sin embargo, mientras en las Universidades públicas se ocupan en tareas de Investigación 25.423 personas, en las Universidades privadas únicamente lo hacen 8.758 personas. Por otra parte, mientras en las Universidades públicas se destinan \$218.409.000 para las actividades científicas, en las Universidades privadas \$67'334.000. En 1978, por ejemplo, las Universidades públicas tenían a su cargo 789 Proyectos; mientras que las Universidades privadas solamente 131. De allí que en Colombia, el liderazgo en la Investigación Científica corresponda a la Universidad pública.

En 1982 las cifras mejoraron ligeramente a favor de la Universidad privada, con 202 Proyectos y 938 Proyectos de la Universidad pública. En este mismo año, la Universidad pública gastó \$338'287.000 en la financiación de Proyectos de Investigación y Desarrollo, mientras que la Universidad privada solamente \$83'985.000, o sea, la cuarta parte.

Por otra parte, en 1982, los Institutos públicos de Investigación gastaron \$1.013'101.000 y los privados solamente \$226'330.000. Esta situación continúa manteniéndose, grosso modo, en el presente. Igual cosa sucede con la Prestación de Servicios Científicos a la población. En conclusión, puede afirmarse que en Colombia es el sector público el que hace el mayor aporte al financiamiento de las actividades científicas.

En los últimos años se observa un incremento en el número de investigadores por cada 100.000 habitantes de la población global del país. Así, mientras que en 1978 eran 11, en 1982 y 1985 las cifras ascendieron a 17 y 24 respectivamente.

#### TIEMPO DE DEDICACION

Puesto que no todos los investigadores dedican todo su tiempo hábil a la investigación, es necesario introducir una corrección a las cifras del número de Investigadores, teniendo en cuenta el tiempo real dedicado a la investigación.

La situación para el año de 1978 era la siguiente: número de investigadores de tiempo completo 641. Número de investigadores de medio tiempo, en equivalente a tiempo completo 310. Número de investigadores de tiempo parcial en equivalente a tiempo completo 631. Número total de investigadores en equivalente a tiempo completo 1.582, lo

cual significa una reducción de 53.5% del número inicial de investigadores (3.404) y una disminución de 11 a 6 investigadores por cada 100.000 habitantes, cifra bastante baja dentro del contexto latinoamericano. Hacia el año 1982 esta situación mejoró notablemente, puesto que el número de investigadores creció a 4.769, que se convierten en 2.527, si se le aplica la corrección de dedicación real, o sea 9 investigadores por cada 100.000 habitantes.

#### CLASIFICACION DE LOS PROYECTOS EN ATENCION A SU FINALIDAD

En atención a su finalidad específica, los Proyectos son susceptibles de agruparse en 3 categorías, a saber: investigación básica, investigación aplicada, y desarrollo experimental. El 83.6% de los Proyectos está orientado hacia la investigación aplicada, es decir, dirigida a un propósito práctico muy específico, el resto se reparte en las dos categorías residuales, así: investigación básica 9.2%, desarrollo experimental 7.2%.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a COLCIENCIAS y en particular al Dr. Alvaro Velásquez, jefe de la Oficina de Prospectiva y Métodos por la generosa y amplia colaboración prestada para la elaboración de este trabajo.

Beijing, 14-18 September 1987.

# Discurso del presidente de la Academia, doctor Luis Eduardo Mora-Osejo, con motivo de la entrega de los Premios en Ciencias 1987

Señores Miembros de la Junta Directiva de la Academia  
Señores Académicos,  
Señores Galardonados,  
Señoras y Señores:

Un motivo realmente singular en la ya larga existencia de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, nos congrega esta tarde en Sesión Solemne: resaltar los méritos de destacados exponentes de las nuevas promociones de científicos colombianos que en razón de las calidades de los trabajos presentados a los concursos abiertos por la Institución, han merecido ser galardonados con los premios "ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES" y "ACADEMIA DE CIENCIAS DEL TERCER MUNDO", respectivamente.

En todo tiempo, uno de los objetivos centrales de la Academia ha sido el de promover y estimular a la Comunidad Científica colombiana y, simultáneamente, mediante el esfuerzo mancomunado de todos, propugnar por el engrandecimiento de la ciencia local en todas sus manifestaciones, y hacer de ella uno de los pilares prominentes de la cultura nacional. Nos impulsa y motiva en este empeño, el convencimiento profundo de que mientras nuestra Ciencia local sea débil, tampoco estaremos los colombianos en capacidad de ser los protagonistas de nuestro desarrollo y menos aún de que éste responda a nuestras propias necesidades y a las singularidades de nuestro entorno natural.

Por fortuna existe ya el consenso de que no podremos alcanzar esta meta mientras el Estado colombiano y, en general, los sectores responsables de la producción económica, abran un espacio estable, propicio y provean los suficientes recursos para el desenvolvimiento de la Ciencia local, pero ya no entendida como una simple actividad decorativa marginal, sino como la condición previa fundamental del desarrollo de toda la Nación. Solamente así

tendremos la capacidad de afrontar los problemas del futuro con las herramientas del saber científico y desarrollar Tecnologías propias, adecuadas a las condiciones singulares del medio colombiano.

Iluso sería, desde luego, suponer que estamos ya cerca de tan ansiada meta, cuando la realidad nos muestra que ocurre todo lo contrario, pese a los significativos avances logrados en el proceso de fortalecimiento e institucionalización de la ciencia, en los últimos 20 años.

El camino por recorrer es todavía largo y difícil. Por circunstancias que no es del caso entrar a analizar nos debatimos todavía en una situación de atraso, aun dentro del contexto de los países latinoamericanos más avanzados; no obstante las condiciones privilegiadas y singulares de nuestro entorno natural y las características intrínsecas de nuestra idiosincrasia que nos califican como pueblo imaginativo, recursivo y emprendedor.

La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, es consciente del papel fundamental que le concierne en todo cuanto se haga para lograr un cambio fecundo. De allí que en la medida que lo han permitido sus recursos se haya dado a la tarea de promover las Ciencias en nuestro medio y, en particular, de exaltar el trabajo y los logros de los investigadores colombianos.

Fue así como a principios del año pasado se estableció el premio: "ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES" y bajo los auspicios de la ACADEMIA DE CIENCIAS DEL TERCER MUNDO, con sede en Trieste (Italia), el premio que lleva el nombre de esta Institución. Uno y otro buscan exaltar los méritos de científicos colombianos pertenecientes a las nuevas generaciones, que se han hecho merecedores a estos galardones por el mérito intrínseco de sus trabajos, presentados a concurso público. En este año, los premios correspondieron, respectivamente, a las Ciencias de la Tierra, y a las Ciencias

**Biológicas.** En los años por venir, las disciplinas se rotarán y alternarán sucesivamente, de tal modo que a lo largo de las diferentes convocatorias tendrán opción al premio, científicos de las diversas áreas especializadas de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

En nombre de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y en el mío propio como su Presidente, deseo expresar a los galardonados las más efusivas felicitaciones por la elevada distinción a la que se han hecho mere-

cedores. Permítanme decirles, asimismo, que es nuestro más hondo deseo que este reconocimiento contribuya a mantener viva la llama de la vocación científica, vale decir, del empeño por la búsqueda de la verdad y de tal modo que sus realizaciones, sus esfuerzos y desvelos se conviertan en ejemplo digno de ser imitado por nuestros contemporáneos y por las nuevas generaciones que habrán de sucedernos.

Muchas gracias.

# Discurso del presidente de la Academia, doctor Luis Eduardo Mora-Osejo, con motivo de la entrega de los Premios en Ciencias 1988

Señores Miembros de la Junta Directiva de la Academia Colombiana de Ciencias,

Señores Académicos,

Señores galardonados con los premios de Ciencia 1988,

Señoras y Señores:

Por segunda vez se reúne la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en sesión solemne, para hacer entrega de los Premios de Ciencias correspondientes al año de 1988. Ambos galardones otorgados por nuestra Academia: uno en su propio nombre y otro en representación de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo.

Cumple así la Academia Colombiana de Ciencias con una de sus tareas fundamentales, como es la de estimular el trabajo científico creativo de los investigadores colombianos, en particular, de las nuevas promociones.

En esta oportunidad, la convocatoria correspondió a dos disciplinas de la ciencia, la física y la biotecnología; una y otra, de gran actualidad y que para fortuna del país, han experimentado en nuestro medio desarrollos sobresalientes en los últimos años. En lo que a la física concierne, cabe destacar los avances logrados en la tecnología de los superconductores, avances que de suyo colocan a Colombia en posición destacada y próxima a la de los países más avanzados. Asimismo, en lo que toca a la Biotecnología se han obtenido, en nuestro país, resultados brillantes en los campos de la Inmunología, de la Ingeniería genética y en el mejoramiento y propagación masiva, in vitro, de plantas de importancia económica, entre otros.

Con la entrega de los premios en Ciencias, 1988, la Academia Colombiana de Ciencias, a la par que enaltece, estimula y reconoce el trabajo de quienes se dedican por entero, con entusiasmo y energía al avance del conocimiento científico, está contribuyendo a la consolidación de la ciencia en nuestro medio, a que abandone su situación marginal e irrumpa definitivamente en nuestra sociedad, que no obstante tener por hábitat uno de los más diversos y complejos espacios geográficos de la tierra, que entre otras consecuencias, determina que la ciencia sea la herramienta indispensable para nuestro desarrollo, vivió durante largos siglos de espaldas a la Ciencia y por ende a la comprensión racional de su propio entorno natural, salvo las meritorias excepciones que ha registrado la historia.

Nos encontramos a escasos 12 años de la finalización del siglo XX; siglo de las grandes guerras mundiales, pero también el de la revolución científica y tecnológica, que para bien o para mal, no solamente modificó la faz de la tierra, sino que ha transformado a la sociedad humana, al punto que hoy en día, la Ciencia y la Tecnología son las actividades que no solamente determinan las interdependencias económicas de las sociedades nacionales, sino el quehacer humano en todos los órdenes:

No en balde, el gobierno nacional ha declarado este año y buena parte del próximo, como *El Año de la Ciencia y la Tecnología*. Es, pues, la oportunidad que debe aprovechar la comunidad científica colombiana para reflexionar a su interior y hacia el exterior, en referencia a la sociedad, al Estado colombiano y a nuestro entorno natural. Al interior, en busca de alcanzar cada vez más altos niveles de excelencia; y al exterior, para insistir ante las diferentes instancias de la sociedad y del Estado que se reconozca a la ciencia y a la tecnología el puesto

prioritario que de suyo les corresponde, si no queremos renunciar al derecho de ser los protagonistas de nuestro propio desarrollo.

La Ley sobre el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico que ahora mismo se discute en el Congreso de la República, debe abrir definitivamente los espacios institucionales dentro de la estructura del Estado que con sobrada razón reclaman los investigadores, para la Ciencia y la Tecnología; en cuanto intuyen que solamente así su propio trabajo y esfuerzos, de consuno con el de los gobernantes y legisladores, se traducirá en la adopción de políticas estatales globales y en decisiones a corto y largo plazo, para el desarrollo nacional o regional con fundamento en el conocimiento objetivo de la realidad, así como en el diagnóstico científico de sus problemas. Así también los Investigadores obtendrán mayor reco-

nocimiento por parte de la Sociedad y del Estado, y podrán disfrutar de mejores y mayores recursos para su trabajo. Desde luego, mientras no exista la voluntad política firme y decidida por parte del propio Estado para suscitar y llevar a efecto estos cambios, sobre la Ciencia y la Tecnología locales continuará pesando la condición de marginalidad y aumentará cada día más la brecha que nos separa de los países avanzados.

Señores Galardonados:

En nombre de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, os felicito por el triunfo alcanzado y formulo votos porque el mérito de vuestro trabajo trascienda a la sociedad colombiana toda y estimule a otros muchos jóvenes científicos colombianos a seguir vuestro ejemplo.

Bogotá, noviembre 30 de 1988

# CIENCIA Y CULTURA: LA DISCONTINUIDAD DE LA ENERGIA

Por José Luis Villaveces C.\*

## PARTE I

### LA DISCONTINUIDAD DE LA ENERGIA DE LA TIERRA A LA LUNA

Una buena parte de este tema me fue sugerida por un comentario que hizo el Dr. Eduardo Brieva cuando, hablando ante la Academia Colombiana de Ciencias, decía que, gracias a los avances de la técnica en los últimos años, ahora es posible medir la distancia de la Tierra a la Luna con un error inferior a diez centímetros. Al terminar su exposición le comenté que esto implicaba un cambio en la definición usual de distancia entre la Tierra y la Luna, pues la que se usa generalmente en Astronomía es la distancia entre los centros de gravedad de los dos cuerpos celestes, mientras que la distancia medida con el láser es una distancia entre el punto donde está colocada la fuente de luz y la superficie que la refleja. Dicho en otras palabras, es la distancia que hay entre la superficie de la Tierra y la de la Luna. Estuvo de acuerdo conmigo, pero no sé si estará de acuerdo cuando yo afirme que cada vez que queremos mejorar la precisión con la cual medimos una distancia, debemos cambiar la definición de la propiedad medida; que medidas sucesivas de distancia, con precisión creciente, no son medidas de la misma cosa.

Por ejemplo, si determinamos la distancia entre la superficie de la Tierra y la de la Luna con diez centímetros de precisión, evidentemente ya no estamos hablando de "la" distancia entre la Tierra y la Luna, sino de su distancia en un día particular

a una hora determinada, pues la órbita de la Luna alrededor de la Tierra es una elipse perturbada, con excentricidad y perturbaciones bien superiores a los diez centímetros. De "una" distancia hemos pasado a una medida instantánea, a un elemento de un conjunto de distancias. Pero, tal vez más interesante es pensar desde donde se está midiendo la distancia. ¿Desde cuál de los dos extremos del aparato que, probablemente, tenga más de diez centímetros de largo él mismo? ¿Desde la mesa de trabajo que se encuentra en el tercer piso del laboratorio o desde el nivel de la calle? Claro que podemos hacer correcciones y medirla ajustándola a la distancia desde el nivel del mar. Aún así tendremos dificultades, pues el "nivel del mar" cambia en más de diez centímetros a lo largo de la superficie terrestre. Resulta evidente que estamos midiendo con muchísima precisión una magnitud que tiene muy poco que ver con la definición usual de "La Distancia entre la Tierra y la Luna".

Esta aparente patología no es exclusiva de la distancia entre cuerpos astronómicos. Midamos la longitud de una mesa de este cuarto o, lo que es lo mismo, la distancia entre sus dos extremos. Colocamos un metro sobre ella y obtenemos un valor con una precisión de un centímetro. Tomando algunas precauciones más, podemos medirla con una precisión de un milímetro. Pero, ¿sí habrá tenido el carpintero la precaución de cortar los dos extremos exactamente paralelos? O, ¿podrá ser que la distancia entre ellos difiera en algunos milímetros? Si esto es así, todavía podemos medir la distancia por ejemplo entre los dos puntos medios con una precisión de un milímetro. Sin embargo, si lo que nos interesa es ver si cabe en un espacio que teníamos predestinado para ella, es más sensato medir la distancia entre los dos extremos más alejados.

\* Grupo de Química Teórica, Departamento de Química Universidad Nacional de Colombia. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias.

Resulta que ya estamos cambiando la definición. De "la" longitud de la mesa pasamos a la distancia entre un cierto punto y otro, muy particulares, de lado y lado del mueble.

Bien puede suceder que el carpintero sí la haya cortado de manera que los dos extremos sean paralelos y no difieran en distancia ni siquiera en una centésima de milímetro, aunque sea dudoso que tenga sierras de tanta precisión. Aún así, el problema sería idéntico cuando quisiéramos medir la mesa con una precisión de milésimas de milímetro. Aunque ahora ya no nos sirve el metro inicial, pues distancias del orden del micrómetro sólo pueden medirse con instrumentos microscópicos. O con un láser y un interferómetro. Pero, ahora se plantea la cuestión de si el carpintero no sólo fue capaz de cortar la mesa con el paralelismo supuesto, sino de si luego la pudo pulir con esta precisión. Pues, de no ser así, habrá "montañas y valles" que tendrán más de una micra de altura, en las superficies de los extremos de la mesa. De hecho, tendríamos que asegurarnos de si estamos midiendo la distancia entre las dos tablas o entre los dos recubrimientos de pintura, pues es evidente que la capa de laca tiene bastante más de un micrómetro de espesor. Resulta ahora que, de nuevo, hemos cambiado la definición de la cantidad física medida. Ya no medimos "la longitud de la mesa", sino la distancia entre las dos protuberancias más alejada, desde la superficie de laca que las recubre.

La patología es así común a los planetas y las mesas. Tal vez no sea difícil ver que lo es a la mayor parte de los cuerpos. Sin embargo, siempre podemos imaginar un objeto sólido, hecho con tanto cuidado como el metro patrón que reposa en París, con sus extremos cortados en paralelas perfectas, con un pulimento exquisito, sin ningún recubrimiento de laca, de tal manera que podamos medir su longitud con una precisión de un micrómetro;  $10^{-6}$  metros. Entonces podemos pedir una precisión superior. Para no extender demasiado el argumento, exijamos de una vez cuatro órdenes de magnitud más de precisión y midamos la longitud de esta barra de Platino-Iridio con una incertidumbre inferior a un Angstrom. Ahora, la constitución atómica de la materia va a limitar de manera absoluta la precisión de las medidas.

La patología de la cual he venido hablando se manifiesta cada vez que queremos medir la distancia con una precisión menor que el orden de magnitud del sistema que nos interesa. Mientras menor sea la incertidumbre tolerada, más grave es la patología: de la distancia entre dos cuerpos pasamos a la distancia entre sus superficies o entre puntos de ellas. El cuerpo sólido empieza a aparecer como envuelto por una superficie rugosa y ahora medimos distancias entre detalles de esa superficie en vez de distancias entre cuerpos. Cuando queremos medir distancias con una precisión del orden de magnitud de los átomos, la constitución atómica de la materia limitará de manera absoluta la precisión de las medidas. La medida de la longitud de la barra

de platino-iridio que reposa en París con una precisión de  $10^{-10}$  metros es una medida de distancias entre qué y qué, si tengo que pensar en los átomos de Platino de lado y lado? ¿Es la distancia entre las superficies externas de los átomos o entre los puntos medios de las líneas que los unen? En realidad, la idea de "superficie" de un átomo no tiene sentido en la ciencia actual. Y esto, sin hablar del aparato necesario para hacer la medida que, si es óptico, tiene que usar luz de una longitud de onda tal que produce la ionización de los átomos y la descomposición del sistema.

¿De dónde sacamos entonces la idea de que la distancia entre la Tierra y la Luna está definida con cualquier precisión?

## RECTAS EUCLIDIANAS Y PREJUICIOS GALILEANOS

Esta creencia es un prejuicio Galileano derivado de la idea de que una recta es un conjunto de un número infinito de puntos:

"Exactamente como una línea de diez hebras (canne) contiene diez líneas de una longitud de una hebra y cuarenta líneas de la longitud de un brazo braccia) y ochenta líneas de medio brazo de longitud etc., así contiene también un número sin fin de puntos, llámalos actuales o potenciales, como te plazca, mi querido Simplicio, pues en lo que concierne a este detalle me doblego ante tu opinión y juicio".

Galileo se mofa del Aristotélico Simplicio pero al mismo tiempo tergiversa el modo de pensar del estagirita, quien había dicho claramente:

"es imposible que ningún continuo esté formado por partes indivisibles; por ejemplo, que una línea esté constituida por puntos, si es verdad que la línea es un continuo y el punto es indivisible" (Física, Libro Sexto, Capítulo I).

Para Aristóteles los puntos no pueden ser elementos de la línea y no se puede llegar a ellos por subdivisión infinita como sugiere Galileo; no en vano había argumentado vigorosamente en el Libro III de la Física en contra de la existencia del infinito, tanto del "infinito grande" como del "infinito pequeño" como los había designado Platón; en contra de la posibilidad de sumar hasta el infinito tanto como de la posibilidad de dividir hasta el infinito. Sin embargo, para él, los puntos sí están contenidos en la línea pero potencialmente: es posible cortarla y actualizar un determinado punto, pero se interrumpe así la continuidad de la línea. Galileo rechaza, sin más esta idea imponiendo sin discusión su punto de vista y dejando generosamente a Simplicio que llame a los puntos Galileanos "potenciales" si le place.

Galileo se basa en el *prejuicio* de que toda la naturaleza es reducible a la geometría. De que las distancias en el espacio físico son iguales a las rectas de un espacio euclidiano. Esto es un prejuicio inherente a la cultura occidental después del renacimiento, después de Galileo, de Kepler y de Newton.

Sin embargo, este prejuicio es inaceptable en una ciencia que se pretende basada en la experiencia. Una distancia física no es divisible hasta el infinito. Al menos en este sentido está limitado Galileo: la división *ad infinitum* de la recta implica, en primer lugar, una corrección de la definición de la distancia cada vez que se quiera dar su magnitud con una incertidumbre inferior a las dimensiones del sistema. En segundo lugar, y más grave aún, está limitada por la naturaleza atómica de la materia. Pero, ¿esto quiere decir que las distancias no deben ser representadas por variables continuas!

En efecto, para estudiar la distancia como variable, digamos en función del tiempo, tomamos un metro que permita medidas con precisión de un milímetro y medimos varias veces, para varios tiempos diferentes, obteniendo un conjunto de resultados  $\langle d_1, d_2, \dots, d_N \rangle$ . Si estuvieran exoresados en milímetros, estos resultados serían números enteros, puesto que este es el límite de su precisión. Son variables discretas representables sólo por números enteros. Sin embargo, en contra de la evidencia experimental, tenemos la idea de que la distancia es una variable continua. ¿Es esta convicción algo más que un prejuicio? Aunque toda medida de distancia hecha en estas condiciones nos haya dado como resultado un número entero, creemos en la existencia de los valores intermedios. ¿Por qué?

Podemos haber obtenido un cierto valor para la distancia y, si medimos otro un intervalo de tiempo muy corto después obtendremos el mismo valor o su entero inmediatamente superior. Nunca un valor intermedio, porque nuestro metro no nos lo permite. Sin embargo, adelantamos la hipótesis de que la distancia varió de un entero al siguiente pasando por todos los valores intermedios (¿un infinito no contable!). Para verificar nuestra hipótesis, traemos un instrumento más preciso, que permita medir distancias en milésimas de milímetro y, partiendo del mismo valor inicial, hacemos una serie de determinaciones de distancia dentro del mismo intervalo de tiempo anterior, de manera que lleguemos al siguiente milímetro al final de nuestras medidas. Habremos obtenido un nuevo conjunto de resultado  $\langle d_1, d_2, \dots, d_N \rangle$  que muestran que sí había distancias intermedias (sí, pero menos de mil, que es un número despreciablemente pequeño frente al infinito no contable que habíamos supuesto). Expresando estos resultados en micrómetros, encontraremos sólo números enteros como resultados de la medida de las distancias. El argumento se repetiría en forma idéntica.

Cabe ahora volver sobre mis dos afirmaciones iniciales: en primer lugar, es posible que la definición de distancia haya cambiado al cambiar la precisión, por lo tanto, los resultados del segundo conjunto no corresponden a los del primero y no habríamos obtenido ningún valor intermedio de distancias del primer tipo. Pero, puede ser que esto no sea así, y que los elementos del segundo conjunto sí correspondan a medidas de la misma

propiedad física que los del primero. ¿Hemos demostrado que la variable es continua? Evidentemente no, puesto que sigue variando sólo como múltiplos enteros de una cantidad fundamental (el micrómetro). Lo único que hemos demostrado es que esta cantidad fundamental es algo más pequeña de lo que habíamos creído antes. Podemos repetir el argumento y traer ahora un aparato que permita medir distancias del tamaño de un Angstrom entre dos objetos macroscópicos. Obtendríamos sólo enteros como resultado de nuestras medidas, expresadas en Angstroms, pero, como ya vimos, es dudoso que se pueda medir "la distancia" entre dos objetos macroscópicos con una precisión inferior al tamaño de las moléculas que los constituyen. Si suponemos que el límite de esta precisión es el Angstrom, todas las distancias que podamos medir, expresadas en Angstroms serán sólo números enteros y, por lo tanto, la variable que las represente debe ser una variable discontinua. La idea Galileana de que, podemos medir la recta con precisión infinita es una inducción no justificada. Y falsa, pues el proceso de subdivisión en los objetos naturales está limitado por su propia constitución.

Para los científicos de la segunda mitad del Siglo XIX, que aceptaban la hipótesis de la constitución atómica de la materia, y declaraban que su ciencia estaba fundamentada en la experimentación, debería haber sido al menos plausible la idea de la discontinuidad de las distancias. O de la energía.

## LA CONTINUIDAD DE LA ENERGIA Y EL MUNDO DE AYER

El concepto moderno de energía empieza a nacer cuando Leibniz propone que sea la *vis viva* la que se conserve en el movimiento. Esta «medida de la eficacia de una fuerza a través del espacio», como la llamó D'Alembert en 1743,  $\int F dx = (1/2) mv^2$  es nuestra energía cinética, que nace asíligada con el espacio. Young, a principios del Siglo XIX propuso llamar Energía a esta cantidad. Hoy día decimos que esta integral es el trabajo realizado durante el movimiento, que, para el caso simple de una fuerza constante, es  $F \cdot d$  donde  $d$  es la distancia recorrida bajo la acción de la fuerza. Los problemas que hemos encontrado con la distancia se transfieren así a la energía cinética y al trabajo, esto es, a lo que hoy llamamos energía mecánica.

Los constructores de máquinas de finales de Siglo XVIII y del Siglo XIX se dieron cuenta de la relación existente entre esta energía y el calor que no se había dejado reducir al papel de flogisto o calórico. La energía pasó de ser un concepto mecánico entre otros, a la primerísima posición que hoy ocupa en la ciencia, la tecnología, la política y la economía, a través de los detallados estudios acerca del calor realizados por Mayer, Thompson, Joule, Colding y otros, que llevaron en la década de 1840 al enunciado del Principio de Conservación de la Energía.

Pero el concepto de calor se forjó a través de las medidas de variación de temperatura y, por lo

tanto, la precisión con que pueda medirse el calor depende y dependía sobre todo en el Siglo XIX de la precisión con que pueda medirse un cambio de temperatura, es decir, de la precisión con que pueda medirse la longitud de una columna capilar de mercurio dentro de un tubo de vidrio. Estamos otra vez midiendo distancias y por lo tanto, debemos esperar para el calor las mismas limitaciones que habíamos encontrado para ellas.

Recapitulando un poco, he afirmado hasta este punto que las distancias no pueden medirse con precisión absoluta, que el proceso de subdivisión al infinito no pasa de ser un salto ingenuo de Galileo, una inducción inaceptable para cualquier matemático, pues, de tener una verdad mostrada para  $N = 2, 3, 4, 5$ , salta a afirmar que es válida para todo  $N$  entero y aun para el infinito. Esta audaz e injustificada extrapolación se sustenta sólo en su devoción por la Geometría y en su respeto a Platón. De hecho, la precisión con la que pueda medirse una distancia y el concepto mismo de distancia están limitados por la naturaleza discontinua de la materia. Una ciencia experimental no puede aceptar que la distancia sea una variable continua.

Cuando el concepto moderno de Energía nace en el Siglo XIX, lo hace directamente ligado a medidas de distancia. Me parece claro que, de no haber sido por los prejuicios culturales de la época, hubiera podido pensarse desde su nacimiento que no podía ser una variable continua, que sólo podría cambiar por saltos cuyo tamaño estaba condicionado por la naturaleza discontinua de la materia. Al menos ha debido admitirse esta hipótesis y estudiarla.

Sin embargo, cuando Max Planck en 1900 encontró la primera evidencia experimental de que la energía variaba por saltos, pensó que esto difería tanto de todo lo que él conocía, que en un principio se rehusó a aceptarlo. Cuando empezó a aceptarlo sintió que era un descubrimiento importantísimo, que tocaba los fundamentos mismos de nuestro conocimiento de la naturaleza. Pero, "los fundamentos mismos de nuestro conocimiento de la naturaleza" estaban basados en el simple prejuicio de que, si uno puede dividir una cosa cuatro o cinco veces entonces la puede subdividir hasta el infinito. Se apoyaban en la idea, contraria a la experiencia, de que las distancias en la naturaleza corresponden a rectas de un espacio euclidiano.

¿Por qué Max Planck era tan conservador? o, mejor dicho, ¿por qué estas ideas parecían tan fundamentales y tan grave tocarlas? Una primera explicación debe ser buscada en el gran triunfo de la Física Clásica desde Newton, hasta su apoteosis en el Siglo XIX. En la absorción de la acústica dentro de la mecánica y de la óptica dentro del electromagnetismo, en el auge de la termodinámica. Sin embargo, no todo era tan perfecto en la física. El cuerpo negro que preocupaba a Planck seguía sin justificar su radiación; la electrodinámica de los cuerpos en movimiento presentaba formida-

bles retos y los intentos fallidos de buscar al éter hechos por Michelson, que se consideraron como prueba de la inexistencia del éter, habrían podido ser utilizados por Simplicio como una prueba contundente de la inmovilidad de la Tierra. Los espectros no se explicaban aún y el conjunto entero de la química permanecía con demasiados principios ordenadores diferentes como para ser satisfactorio. La ciencia, en breve, no podía mostrarse tan satisfecha de sí misma como para no estar dispuesta a aceptar algunos cambios. Fundamentales. Sin embargo, la simple sospecha de que podría haber alguno aterraba a Planck. Y a muchos de sus contemporáneos.

No sólo era Planck un científico. Era también un miembro de la nación germánica en la época imperial, cuyas características nos cuenta Stefan Zweig en "El mundo de Ayer":

Si me propusiera encontrar una fórmula cómoda para la época anterior a la primera guerra mundial, a la época en que me eduqué, creería expresarme del modo más conciso diciendo que fue la edad dorada de la seguridad. En nuestra casi milenaria monarquía austriaca, *todo parecía establecido sólidamente y destinado a durar*, y el mismo estado parecía como garantía suprema de esa duración. Los derechos que concedía a sus ciudadanos eran confirmados por el Parlamento, representación, libremente elegida, del pueblo, y cada deber tenía sus límites exactos. Nuestro dinero, la corona austriaca, circulaba en forma de resplandecientes monedas de oro y aseguraba así su inmutabilidad. Cada persona sabía cuánto poseía o cuánto le correspondía, lo que le era permitido y lo que le estaba prohibido. Todo tenía su norma, su peso y su medida determinados. El que poseía una fortuna podía calcular exactamente el interés que ganaría anualmente, y el funcionario o el oficial podían señalar con certeza en el almanaque el año en que ascenderían y se retirarían. Cada familia tenía presupuesto fijo, sabía exactamente cuánto necesitaba gastar para la habitación y la comida, para el verano y la representación, y además apartaba indefectiblemente y con cuidado un pequeño margen para lo imprevisto, una enfermedad y el médico. El que era dueño de una casa la consideraba seguro refugio de sus hijos y nietos; las haciendas y los negocios se heredaban de generación en generación; mientras un recién nacido dormía en la cuna, ya se depositaba un primer óbolo en la alcancía o en la caja de ahorros para su camino en la vida, una pequeña "reserva" para el porvenir. En aquel extenso imperio todo permanecía firme e inmovible en su lugar, y en el más alto de ellos, el anciano emperador. Pero si este había de morir, se sabía (o se creía) que vendría otro y que en nada se modificaría el bien calculado orden. Nadie creía en guerras, revoluciones ni disturbios. Todo radicalismo, toda imposición de la fuerza, parecía imposible ya en un siglo predilecto de la razón.

Esta sensación de seguridad era el bien más digno de ambicionarse para millones de hombres, el ideal de la vida común. La vida sólo era considerada digna de vivirse si estaba basada en esta seguridad... Sólo el que podía contemplar el futuro sin preocupaciones disfrutaba del presente con buenos sentimientos... En su idealismo liberal, el siglo XIX estaba sinceramente convencido de encontrarse en el camino más recto e

infalible del «mejor de los mundos»... y esta fe en el progreso ininterrumpido e irresistible tenía para aquellos tiempos, en realidad, la fuerza de una religión. (Stefan Zweig: "El Mundo de Ayer" Capítulo I. Subrayado de JLV).

Es la "Kania" que tan magistralmente ha descrito Musil en "El Hombre sin Atributos". En forma algo más cruda nos pinta el mismo cuadro el jugador de Dostoiewski desde Rületenburgo, ciudad prototipo de los blanearios renanos, inspirada en Wiesbaden y en Baden-Baden:

Llevo poco tiempo aquí, pero lo que he podido observar y comprobar exaspera mi naturaleza tártara... en cada casa está el Vater tan virtuoso y tan honesto... Todo Vater tiene su familia y por las tardes leen juntos en voz alta libros edificantes. De fuera llega el rumor de los castaños y los olmos. El sol se pone, en el tejado hay una cigüeña y todo resulta tan poético y conmovedor... Aquí una familia así vive en la más absoluta esclavitud y obediencia al Vater... Supongamos que el Vater ha ahorrado unos florines y cuenta con el primogénito para transmitirle su oficio o las tierras. Para eso no se da dote a las hijas y estas se quedan solteras. Para eso se vende al hijo menor como criado o como soldado, y el dinero se une al capital familiar... Y esto se hace por honradez, por honradez redoblada... y luego ¿qué? Que también el primogénito pasa a lo suyo: tiene a su Gretchen, a la que se siente sentimentalmente unido, pero con la que no puede casarse porque no han ahorrado bastantes florines. También esperan, virtuosos y sinceros, y van a la inmolación con una sonrisa en los labios. Las mejillas de la Gretchen se hundén, ella se marchita. Pero pasan veinte años y los bienes se han multiplicado: ya han ahorrado bastantes florines honesta y virtuosamente. El Vater bendice al hijo cuarentón y a la Gretchen de treinta y cinco años, de pecho plano y nariz colorada... prorrumpe en lágrimas, les echa un sermón y muere. El primogénito se convierte a su vez en un Vater virtuoso, y la historia se repite. A los cincuenta o setenta años, el nieto del primer Vater ya ha acumulado un capital considerable y se lo trasmite a su hijo y este al suyo. Y a la quinta o sexta generación aparece el mismísimo barón Rothschild, o Hoppe y Compañía, ¡o el diablo sabe el qué! ¡Qué espectáculo tan grandioso: el trabajo heredado de generación en generación durante cien o doscientos años de paciencia, inteligencia, honradez, carácter, firmeza, cálculo y una cigüeña en el tejado! (F.M. Dostoievski, "El Jugador". Capítulo IV).

En este mundo de sólidos fundamentos, de inmutables leyes, de seguridad, de amor al progreso. En este mundo imperial y eterno se sintió Planck tocando a los fundamentos mismos de la Física. Es natural que haya retirado, atemorizado, su mano.

## PARTE II

### DADA Y SALTOS CUANTICOS: EL FIN DE LA CAUSALIDAD

¿Cómo fue posible entonces que en el sólido mundo germánico naciera precisamente el más profundo cambio en nuestra concepción del mundo que se ha dado en los tiempos modernos?

Si Zweig llama a su autobiografía "El Mundo de Ayer" es precisamente porque el mundo en el cual la escribió, ya no era el mismo.

Citamos a Sánchez Ron en la introducción que hizo para la traducción del libro de Forman mencionado más adelante:

"Los últimos momentos de la Primera Guerra Mundial significaron para Alemania una acumulación progresiva de situaciones revolucionarias de las que nacería, pocos meses después, la República de Weimar. Hay que reconocer, no obstante, que en el fondo estas « situaciones revolucionarias » surgieron no tanto de presiones políticas como del cansancio y demoralización producidos por la guerra. Tras cuatro años de lucha brutal, la inminente e ineludible derrota constituyeron un shock de consecuencias fulminantes" (subrayado por JLV).

Cuando terminó la Gran Guerra el mundo había cambiado, para siempre. La "belle époque" que había marcado la apoteosis del desarrollo capitalista dio paso a la confusión y la desesperanza. A la sensación de que todo lo que había constituido la solidez de la civilización se había derribado. Thomas Mann lo cuenta en su novela Dr. Faustus:

"La recordé algo más tarde, durante la primavera de 1919".

"Yo tenía la impresión de que se terminaba una era que englobaba no solamente el Siglo XIX, sino que se remontaba al final de la Edad Media, hasta la ruptura de las trabas escolásticas, hasta la emancipación del individuo, hasta el nacimiento de la libertad; era a la cual yo consideraba en realidad como un clima espiritual; en resumen, la época del humanismo burgués. Yo tenía, digo, la impresión de que su hora había sonado ya, que se iba a realizar una mutación de la vida, que el mundo pasaba por un signo astral innominado todavía. Aquel sentimiento que me incitaba a aplicar intensamente mis facultades receptoras más elevadas, no procedía sencillamente del resultado de la guerra. Procedía de su mismo comienzo, catorce años después del nacimiento del nuevo siglo; estaba en la base del sobresalto ante el destino que en aquel momento habían experimentado los espíritus de mi clase. No era extraño que nuestra disolvente derrota llevase aquel sobresalto hasta el paroxismo; nada extraño tampoco que predominase mucho más en un país aniquilado como Alemania, más que en los pueblos victoriosos, en que el estado de ánimo, por término medio, era más conservador, justamente por su victoria. Para ellos, la guerra no representó, como para nosotros, una profunda y decisiva solución de continuidad histórica".

(Thomas Mann. "Dr. Faustus". Cap. XXXIV)

El período que había desaparecido, el del "humanismo burgués" es, en Física, el período que comienza en el Renacimiento, y se extiende desde Galileo hasta Max Planck inclusive. Con el "sobresalto que experimentan los espíritus" se abre un nuevo período: el de la primera posguerra, el de la República de Weimar. El arte que se desarrolla en Alemania es tal vez el testimonio más impresionante de este sobresalto. El cine expresionista de Fritz Lang, la redefinición del espacio en el "Gabinete

del Dr. Caligari” de Janowitz y Mayer, el camino atonal de Schönberg y de Alban Berg en la música, muestran el esfuerzo de una generación que estaba tratando de inventarse de nuevo el mundo. El punto más avanzado lo alcanzaron los dadaístas. El Dadá fue la revuelta misma. Sanouillet nos explica lo que distingue a este movimiento de todas las escuelas estéticas modernas: no contento con cuestionar ciertos conceptos o ciertas técnicas sobrepasadas, encarna la forma más aguda de un espíritu de subversión individual que invadió esa época. Los principales surrealistas franceses, Aragón, Breton, Eluard, apenas un poco menos golpeados que los del campo de los vencidos, fueron claros en sus descripciones: “No es posible considerar el surrealismo sin situarlo en su época” dijo Aragón, “A nuestros ojos el campo no estaba libre sino para una Revolución extendida verdaderamente a todos los dominios, inversísimamente radical, extremadamente represiva” (A. Breton “Qu’est ce que le surrealisme?”). Breton lo había sentido desde 1919: El propósito reconocido de Dadá era “matar al arte”.

En los años veinte la crisis de la Física toca fondo. Los esfuerzos para explicar el comportamiento del átomo a partir del modelo planetario de Niels Bohr entran en un callejón sin salida. El trabajo de los teóricos entre 1919 y 1925 ha sido descrito como “adivinación sistemática” (Van der Waerden, “Sources of Quantum Mechanics” Dover, 1967. p. 8). La luz se volvía partícula, las partículas se volvían ondas, el espacio se llenaba de “osciladores virtuales” y de entre esta confusión fue surgiendo, alumbrada por una generación de jóvenes germánicos, la idea de que lo que habíamos tomado como realidad hasta ese momento no era sino una imagen aproximada y falsa. Que nuestras sensaciones se habían equivocado. Que el sólido mundo que nos habían revelado nuestros sentidos era apenas una ilusión. Que las cosas eran y no eran al mismo tiempo. Que nuestras ideas más firmes, el espacio, el tiempo, el camino que recorren los cuerpos eran pura apariencia. La revolución filosófica, el cambio más total sobre nuestra concepción de la realidad lo dieron los jóvenes que tuvieron que asumir el destino descrito por Thomas Mann.

Parte fundamental del clima espiritual que había desaparecido con la Gran Guerra era la imagen Newtoniana del mundo. Y, sobre todo, la imagen que de la imagen Newtoniana del mundo tenía el gran público: imagen de la cual la causalidad, con su rígido determinismo constituía el rasgo más sobresaliente y más universalmente detestado. En el “Manifiesto del Surrealismo”, los impulsores de este movimiento, hijo directo del Dadá, lo escribieron así:

“¿Por qué la novela se ha tornado en forma casi universal de la literatura? Porque responde al apetito de lógica de quienes la leen y en ella encuentran aún y sobre todo cuando en ella se comprometen pobres pasiones, el placer de *adicionar y de restar fuerzas* como en mecánica, y porque no hay, por otro lado, en quien la fábrica más que la puesta en marcha de

facultades lógicas. Se requiere un cuarto situado y minuciosamente descrito (¡Oh Balzac!), de personajes con su nombre y su edad, cuidadosamente rotulados, y de quienes se puede estar seguro que ningún milagro brotará jamás de sus contactos! (André Breton “Mani-feste du Surréalisme”, subrayado por JLV).

Parece decir Breton que si se tiene un sistema de coordenadas bien situado (un espacio de fase) y se dan todos los valores iniciales de las posiciones y los momenta, se puede prever todo el desarrollo futuro del sistema sin temer que de las colisiones entre las partículas surja ningún milagro. Este es exactamente el determinismo de la mecánica aplicado a la novela, ese producto absolutamente característico del mundo cuya desaparición lamenta Mann: la solidez del mundo burgués incluía la solidez del materialismo mecanicista y determinista burgués. Contra las dos se luchó al mismo tiempo; las dos se disolvieron al mismo tiempo y la muerte del arte coincidió con la muerte de la física clásica.

El paso importante en Física no consistió en escribir unas ecuaciones. En realidad, las ecuaciones estaban escritas desde antes. La coincidencia formal entre el Principio de Fermat que explica la trayectoria aparente del rayo de luz por el movimiento de una onda y el principio de Hamilton que trata de la misma manera a la trayectoria de una partícula, era conocida y olvidada o considerada sólo como una curiosidad. El paso consistió en romper con las ideas antiguas y atreverse a pensar al mundo de nuevo: para enfrentar al mundo paradójico y extraño que salió de las ecuaciones de la mecánica cuántica fue necesario que se derrumbara el mundo clásico. Fue en este escenario dejado por la Gran Guerra, fue entre aquellos para quienes representó una profunda y decisiva solución de continuidad histórica que se produjo la solución de continuidad teórica.

Tal vez Forman (Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual environment. Citamos de la traducción española, Alianza 1984) ha sido quien más sesudo trabajo ha dedicado al ambiente cultural en el cual se desarrolló la teoría cuántica. Su conclusión es que “el movimiento para prescindir de la causalidad en la Física que tan súbitamente surgió y tan exuberantemente floreció en Alemania después de 1918, fue primordialmente un esfuerzo de los físicos alemanes para adaptar el contenido de su ciencia a los valores de su medio ambiente intelectual... La prontitud, la ansiedad de los físicos por reconstruir los fundamentos de su ciencia se deben entender, por tanto, como una reacción a su negativo prestigio” (P. 42).

¿Por qué ese negativo prestigio? ¿Por qué la física en Alemania aparece después de 1918 como una ciencia desprestigiada que obliga a los físicos a tratar de adaptarse al nuevo pensamiento, según afirma Forman, forzándose a dejar de lado la causalidad? En buena parte se debió a que la Física, la Química, las Matemáticas, como ciencias exactas se

habían comprometido de manera absoluta con el desarrollo alemán a finales del Siglo XIX y, durante la Gran Guerra, habían insistido mucho en su enorme importancia práctica tanto para el desarrollo tecnológico como para el triunfo en la guerra. Cuando aquel “final victorioso que parecía inminente en el verano de 1918, se convirtió repentinamente en el otono en completa derrota, los científicos «exactos» se encontraron ante una escala de valores públicos dramáticamente transformada y por consiguiente, con una valoración de sus disciplinas drásticamente alteradas” (Forman, op. cit., p. 45) “Un régimen incapaz de disciplinar sus fuerzas para otra cosa que la destrucción del hombre fracasó. Fracasaron también las élites que aplaudieron en todos los países la masacre generalizada y se ingeniaron para encontrar medidas capaces de hacerla durar. *Fracasó la ciencia, cuyos más bellos descubrimientos residían en la calidad nueva de un explosivo o en el perfeccionamiento de una máquina de matar...* Fracaso universal de una civilización que se vuelve contra ella misma y se devora” (M. Nadeau, “Historia del Surrealismo” Cap. 1. subrayado por JLV).

De acuerdo con Lukacs, donde más claramente se revela cuán grande fue la transformación de valores y qué consistieron sus consecuencias metodológicas e intrínsecas más importantes, fue en la famosa obra de Oswald Spengler “*La Decadencia de Occidente*” (*Der Untergang des Abendlandes, Umriss einer Morphologie der Weltgeschichte. Publicada en 1918, conoció 2 ediciones y 60 reimpresiones antes de 1926*). La inmensa popularidad del libro se debió a que fue “un documento en verdad representativo de esa etapa” (G. Lukacs; “El Asalto de la Razón. La trayectoria del irracionalismo desde Schelling hasta Hitler. Traducción española. Grijalbo, 1986. Cap. IV. Secc. IV). Documento representativo sobre todo de la *Lebensphilosophie*, o Filosofía de la Vida, que caracterizó tan claramente a la República de Weimar, “rompe el fuego abiertamente contra el espíritu científico en general, contra la competencia de la razón para abordar y resolver adecuadamente los problemas de la humanidad. Y esta tendencia a desprenderse resueltamente de las ataduras de la científicidad trae consigo, inevitablemente, un elemento de diletantismo en el modo de pensar...”. El libro de Spengler fue leído prácticamente por todo el mundo en círculos universitarios, incluidos los físicos (Forman, op. cit. p. 67) que sintieron claramente el rechazo que hacía de todo lo que sea causalidad y ley, afirmando que “el medio para comprender las formas muertas es la ley matemática. El medio para comprender las formas vivas, la analogía” (Spengler, op. cit., citado por Lukacs, op. Cit. p. 376).

Para Spengler, la Física y las Matemáticas son una expresión de la cultura occidental; de la «cultura fáustica», como la llama. Y, la característica esencial de la ciencia fáustica es, en común acuerdo con el punto de vista de su época, “el Kausalitäts-

prinzip, la forma lógica del mundo fáustico” (Spengler, op. cit., p. 551, citado por Forman, p. 69). “Vemos, por consiguiente, que el principio de causalidad en la forma en que es *autoevidentemente necesario para nosotros*, la base de verdad concertada para nuestras matemáticas, física y filosofía— es un fenómeno occidental y, hablando más estrictamente, barroco” (Spengler, p. 549, citado por Forman, p. 69. Subrayado por JLV).

Sobresale en este sentido el discurso de recepción en la Universidad de Zurich pronunciado por Erwin Schrödinger el 9 de diciembre de 1922 (Publicado en español por el Fondo de Cultura Económica: E. Schrödinger “¿Qué es una Ley de la Naturaleza?”, México (1975)).

“Fue Franz Exner, un físico experimental, quien por primera vez, en 1919, con perfecta claridad filosófica, lanzó una crítica contra la manera como todo el mundo aceptaba, como *algo dado por sentado*, el determinismo absoluto de los procesos moleculares. Llegó a la conclusión de que aquello era ciertamente *posible*, pero de ninguna manera *necesario* y, examinado más de cerca, *ni siquiera muy probable...*” (Subrayados de E.S., op. cit., p. 22).

“¿De dónde ha salido la difundida creencia en que la conducta de las moléculas está determinada por una causalidad absoluta, y la convicción de que lo contrario es *inimaginable*? Simplemente, del hábito heredado durante miles de años, de pensar *casualmente*, que hace parecer totalmente disparatada, *lógicamente absurda*, la idea de un sucedido indeterminado, de una absoluta causalidad *primaria...*” (Ibid, 23).

“Lo que Exner afirmó equivale a esto: es perfectamente posible que las leyes de la naturaleza sean en conjunto de un carácter estadístico. La ley absoluta residente detrás de la ley estadística, y tenida por evidente en la actualidad por casi todo el mundo, *va más allá del ámbito de la experiencia...* El peso de la demostración les toca a quienes defienden la causalidad absoluta, no a quienes dudan de ella. Una actitud de duda a este respecto es, hoy por hoy, la *más natural.*” (Ibid, p. 26).

No todos se habían puesto ya de acuerdo. Einstein decía en Agosto del mismo año:

“La meta de la física teórica es crear un sistema conceptual lógico que repose sobre el número más pequeño posible de hipótesis mutuamente independientes, que le permita a uno abarcar de forma causal todo el *el complejo de procesos físicos*” (Citado por Forman, p. 103).

y Planck, en Febrero de 1923 veía que:

“Desde hace tiempo no se había disputado tan violentamente sobre el significado de las leyes causales de la Naturaleza como en nuestros días... Casi parece que la humanidad pensante está dividida en dos bloques en lo que se refiere a esta pregunta”. (Citado por Forman, op. cit. Nota 150).

Schrödinger, por su parte, había tomado partido claramente. Por ello, concluyó su Discurso en la Universidad de Zurich con la siguiente frase:

“Yo prefiero creer que, una vez libres de nuestra enraizada predilección por la causalidad absoluta, lograremos superar estas dificultades, y no que, a la inversa, la teoría atómica —casi casualmente, diríamos— venga a comprobar el dogma de la causalidad” (Schrödinger, op. cit., p. 26).

No fue casualmente que, menos de cuatro años después, en la primavera de 1926, Schrödinger publicara el primero de sus artículos sobre la mecánica ondulatoria, abriendo el paso a la nueva teoría atómica y al fin del imperio del determinismo en Física.

### PARTE III

#### “UND DAS GESETZ NUR KANN UNS FREIHEIT GEBEN”

Al llegar al final de los “Treinta años que conmovieron la Física”, como llamó Gamow a su historia de la Teoría Cuántica, en clara reminiscencia del libro de Reed sobre la revolución bolchevique, los jóvenes para quienes el mundo había cambiado tan fundamentalmente, empezaron a encontrar salidas a su crisis, y las salidas más sólidas fueron halladas siguiendo un precepto que había sido formulado por dos revolucionarios románticos un siglo antes. Goethe, en un inmortal soneto, había escrito:

Natur und Kunst, sie scheinen sich zu fliehen,  
Und haben sich, eh man es denkt, gefunden;  
der Widerwille ist auch mir verschwunden,  
Und beide scheinen gleich mich anzuziehen.

Es gilt wohl nur ein redliches Bemühen!  
Und wenn wir erst in abgemessnen Stunden  
Mit Geist und Fleiss uns an die Kunst gebunden,  
Mag frei Natur im Herzen wieder glühen.

So ists mit aller Bildung auch beschaffen:  
Vergebens werden ungebundne Geister  
Nach der Vollendung reiner Höhe streben.

Wer Grosses will muss sich zusammenraffen;  
In der Beschränkung zeigt sich erst der Meister,  
Und das Gesetz nur kann uns Freiheit geben.

(J.W. Von Goethe. “Natur und Kunst”)

Quiero llamar la atención sobre el último verso: “Sólo la Ley puede darnos la Libertad”. Casi al mismo tiempo decía Francisco de Paula Santander en la Nueva Granada: “¡ Si las armas os han dado independencia, sólo las leyes os darán la libertad!” Palabras inspiradoras que volvieron a usar los revolucionarios que debieron encontrar nuevos caminos de libertad en la tercera década de este siglo.

Los surrealistas encontraron su Ley liberadora para cambiar la Poesía:

“Haceos traer recado de escribir, después de haberos instalado en un lugar tan favorable como sea posible para la concentración de vuestro espíritu sobre él mismo. Colocaos en el estado más pasivo, o receptivo que podais. Haced abstracción de vuestro genio, de vuestros talentos y de los de todos los demás. Decíos bien que la literatura es el camino más triste que lleva a todas partes. Escribir rápido, sin tema preconcebido, suficientemente rápido para no recordar y no ser

(tentados de releeros. La primera frase vendrá sola... Es bien difícil pronunciarse sobre el caso de la frase siguiente... Poco debe importaros, por otra parte. Continúad tanto como os plazca. Fijaos al carácter inagotable del murmullo. Si el silencio amenaza establecerse por haber estado a punto de cometer una falta... colocad a continuación de la palabra cuyo origen os parezca sospechoso una letra cualquiera, por ejemplo la letra l, siempre la letra l y recuperad lo arbitrario imponiendo siempre esta inicial a la palabra siguiente...” (A. Breton: “Manifeste du Surréalisme”)

“El Surrealismo es la inspiración reconocida, aceptada y practicada. No ya como una visitación inexplicable sino como una facultad que se ejerce” (L. Aragon: “Traité du style”)

La regla estricta que da la libertad llegó también a la música con el trabajo de Arnold Schönberg:

“La música atonal llegó a una situación caótica al haber prescindido de la función ordenadora que anteriormente había ejercido la tonalidad. Era necesario entonces encontrar un nuevo principio ordenador y es esto lo que logró Arnold Schönberg, después de muchos años de reflexión sobre la práctica de la composición musical. El resultado fue un instrumento de trabajo. Técnicamente, el método dodecafónico consistía en utilizar los doce grados de la escala cromática sin ninguna relación jerárquica entre ellos, o sea sin ningún ordenamiento a priori, sistematizado. Se prescindía de las relaciones del sistema tonal. Los doce grados eran presentados en forma de una serie de doce sonidos —dodecafónica— que constituía un esquema formal básico que actuaba como principio organizador del tema, o sea que esta sería la base temática y no la escala diatónica, como tenemos en los principios de las tradiciones musicales. Las doce notas de la escala cromática aparecían en la serie melódicamente y en un determinado orden que permanecía inalterable a lo largo de la obra. Para evitar que uno de los grados tuviera primacía sobre los demás, ninguno podía ser repetido hasta que la serie se hubiera presentado en su totalidad. ... Las nuevas técnicas, fueron aplicadas por Schönberg con gran rigidez, ya que había de demostrar que el método podía servir de nuevo principio ordenador.” (B.E. Atehortúa “Curso de Historia de la Música en el Siglo XX”. Programas radiofónicos).

Y, Werner Heisenberg, se armó también de una ley estricta para encontrar, en 1925, el camino hacia la Mecánica Matricial:

Sin aceptar otra base que las cantidades experimentales y la idea de Bohr, Slater y Kramers de que el átomo podía representarse por un conjunto de “osciladores virtuales” que se actualizan en cada transición (y que recuerdan curiosamente a los Puntos Potenciales de Aristóteles, que se actualizan cuando cortamos la línea), Heisenberg siguió una regla muy precisa:

“Un primer paso muy interesante hacia una comprensión real de la Teoría Cuántica fue el dado por Bohr, Kramers y Slater en 1924. Estos autores trataron de resolver la contradicción aparente entre la imagen ondulatoria y la imagen corpuscular mediante el concepto de onda de probabilidad. Las ondas electromagnéticas no como ondas reales sino como ondas de

probabilidad cuya intensidad determina en cada punto la probabilidad de absorción o de emisión inducida de un cuanto luminoso por un átomo... La onda de probabilidad de Bohr, Kramers y Slater significaba algo más: significaba una tendencia a algo. Era una versión cuántica del antiguo concepto de potencia de la filosofía de Aristóteles. Introducía una cosa que se situaba en un punto medio entre la idea de un fenómeno y el fenómeno mismo, una extraña suerte de realidad física, a distancia igual entre la posibilidad y la realidad" (W. Heisenberg, "Physics and Philosophy" (1958)).

"Había que abandonar el concepto de órbita electrónica... La idea de que debían escribirse las leyes mecánicas no en función de las posiciones y las velocidades de los electrones, sino en función de las frecuencias y las amplitudes de su desarrollo en serie de Fourier se sugería por sí misma. Partiendo de las ecuaciones así obtenidas y no modificándolas sino muy poco, se podía esperar llegar a relaciones entre estas cantidades que dieran las frecuencias y las intensidades de la radiación aún para las órbitas pequeñas y para el estado fundamental del átomo". (W. Heisenberg, op. cit.).

La idea de Heisenberg fue que si se trata el átomo como un conjunto infinito de "osciladores virtuales" con frecuencias correspondientes a todas las que el átomo en cuestión puede emitir, podemos describir su espectro óptico por una tabla de frecuencias o matriz, pero

"puesto que las frecuencias de las líneas espectrales emitidas por un átomo representan una matriz infinita, las cantidades mecánicas, tales como las velocidades, los momentos, etc., deberían también escribirse en forma de matrices donde los elementos matriciales  $P_{mn}$  y  $Q_{mn}$  oscilen con las frecuencias dadas por la matriz de frecuencias" (Adaptación hecha por JLV de un texto de G. Gamow "Thirty years that shook Physics". Dover, 1966 p. 103).

Añadiendo la condición de cuantización a las ecuaciones clásicas de la mecánica escritas en forma

matricial, Heisenberg logró obtener un sistema de ecuaciones que dieron los valores correctos para las frecuencias y las intensidades relativas de las líneas espectrales. Se había encontrado el nuevo camino. El uso de la Ley estricta para construir matrices abandonando incluso leyes tan viejas como la de que el orden de los factores no altera el producto, abandonando la vieja idea del camino de un electrón, limitándose a usar las frecuencias que nos da la experiencia, se había empezado a superar la crisis. El mundo empezaba a pensarse de nuevo.

He tratado de mostrar que esto no fue un acontecimiento aislado. Que formó parte de todo el movimiento cultural alemán de la primera posguerra. Que no fue casual que se diera en la República de Weimar. Que el gran salto que significó en nuestra concepción del mundo el descubrimiento de la teoría Cuántica formó parte de todos los sobresaltos que estremecieron a Europa durante las primeras tres décadas de nuestro siglo y que sólo podemos entenderlo y apreciarlo en todo su valor, cuando lo vemos en esa perspectiva.

## CONCLUSION:

### CIENCIA Y CULTURA

Durante un seminario que organizó la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia en junio de 1987, usé la expresión desafortunada "La Ciencia y la Cultura". Los académicos Eduardo Brieva y Jaime Rodríguez, que estaban presentes, me hicieron notar que era una forma incorrecta de expresarse, pues hacía creer que la Ciencia fuera algo distinto de la Cultura, cuando en realidad forma parte de ella. He tratado, con un largo argumento, de contestarles diciendo:

"Sí, Sres. Uds. tienen razón, la Ciencia es parte integral de la Cultura y no podemos separarla de ella, sin correr el riesgo de dejar de entenderla".

# DOS NUEVOS GRUPOS PIAGETIANOS EN LA LOGICA ELEMENTAL

Por Carlos E. Vasco Uribe<sup>1</sup>

## 1. Introducción

Es conocida la propuesta de Jean Piaget de clasificar el grado de desarrollo del pensamiento del niño y el adolescente en cuatro etapas, la sensorio-motriz, aproximadamente de cero a dos años, la pre-operatoria, aproximadamente de los dos años hasta los cinco o siete años; la operatoria concreta hasta las doce o catorce años, y la operatoria formal, etapa llamada también de pensamiento formal, o de pensamiento hipotético-deductivo, de esa edad en adelante.

También es conocida la controversia que desde los años cincuenta hasta nuestros días se ha desatado sobre la validez de esa clasificación y la realidad de esas etapas, sobre todo porque en otras culturas distintas de Suiza y Francia no se observan los indicadores de pensamiento formal en la mayoría de los jóvenes y adultos.

Menos conocida fuera del círculo de los especialistas en psicología evolutiva, es la propuesta de corte radicalmente estructuralista que hizo Piaget al proponer que el paso del pensamiento concreto al pensamiento formal se debe a una estructura algebraica profunda: al dominio del grupo de transformaciones que él llamó "grupo INRC".

Esta invasión del álgebra en la lógica y en la psicología ha sido cuestionada por los psicólogos más pragmáticos y empiristas, sobre todo en Inglaterra y los Estados Unidos. No vamos a entrar en los detalles de esa controversia. Es posible que el pensamiento formal no se deba a una única estructura profunda, sino que tenga diversas dimensiones relativamente independientes. Pero ciertamente es posible "a posteriori" tratar de sistematizar por medio de códigos algebraicos una serie de reacciones de los niños y adolescentes ante cierto tipo de

frases del lenguaje ordinario y del lenguaje de las ciencias y las matemáticas, y ante cierto tipo de preguntas y juegos de tipo lógico.

Puede discutirse la validez de la codificación hecha por Piaget, con la ayuda de lógicos como L. Apostel, B. Matalon y J. B. Grize, que pretendió describir el pensamiento infantil por medio de una estructura inestable que él llamó "agrupamiento", y el pensamiento adolescente por medio de la estructura del grupo INRC, que se llama por antonomasia "el grupo de Piaget".

Pero antes de discutirla, es conveniente analizarla en detalle, y apreciar así su fuerza y su elegancia. Después de estudiar ese grupo, y de tratar de ver si los comportamientos lingüísticos de los niños y adolescentes sí seguían en alguna forma los esquemas que deberían seguirse de la teoría, no sólo encontré que efectivamente aparecen muchas transformaciones lógicas espontáneas y provocadas que parecen seguir el esquema del grupo INRC, sino que encontré otros dos grupos lógicos formados por operadores o transformaciones diferentes, pero que tenían exactamente la misma estructura algebraica que el grupo INRC.

Sobre el grupo INRC pueden verse algunos textos de Piaget, como Inhelder y Piaget (1972, pp. 259-277) y Piaget e Inhelder (1980, pp. 136-144), o la exposición ya clásica de Flavell (1978, pp. 235-241). Una exposición lúcida de W. Mays con algunos de los textos originales de Piaget se encuentra en Gruber y Vonèche (1977, pp. 444-471). Para la discusión teórica sobre las relaciones entre la lógica formal y el pensamiento real puede verse Beth y Piaget (1968), y para la discusión psicológica, DeVal (Ed.) (1977), y el tercer volumen del "Handbook" de Mussen (Ed.) (1983).

Empecemos con una revisión rápida de algunos aspectos menos conocidos del cálculo proposicional, que me parecen imprescindibles para una

---

1 Universidad Nacional de Colombia.

correcta interpretación del grupo de Piaget y de los dos grupos piagetianos que describo en este trabajo.

## 2. Clases de equivalencia en el cálculo proposicional

Podríamos imaginarnos la lógica proposicional como la química del lenguaje declarativo. Una frase declarativa afirma o niega (con verdad o sin ella) que algo es el caso.

Es posible identificar cada frase declarativa como una proposición diferente, o considerar que una proposición es el contenido conceptual de todas las frases declarativas que lo expresen. En cierto sentido, y para aquellos a quienes les gustan las clases de equivalencia, puede considerarse que una proposición es la clase de equivalencia de todas las frases declarativas que tienen el mismo sentido.

Supongamos que tenemos una colección de proposiciones, a cada una de las cuales le podemos asignar como símbolo una letra del alfabeto, generalmente las letras de la p a la w, añadiéndoles subíndices si es necesario introducir nuevas letras.

Hablo de química del lenguaje declarativo, pues podemos comenzar tratando de romper cada proposición en sus átomos o proposiciones primitivas, que no pueden ya desmembrarse en proposiciones más simples unidas por conectivas o afectadas por negaciones. Estos átomos de la química lógica nos permiten volver a construir moléculas, al volverlos al revés por medio de negaciones, o al unirlos en parejas por medio de conectivas binarias.

Muchas de esas moléculas proposicionales resultan ser lógicamente equivalentes, tanto en el sentido sintáctico, o sea porque cada una se puede deducir de la otra y viceversa, como en el sentido semántico, o sea que para cada asignación de valores de verdad a sus letras proposicionales, se obtiene siempre para ambas el mismo valor de verdad global.

Nótese que estos dos sentidos de la equivalencia lógica son diferentes de la conectiva a la que los lógicos (y nadie más que los lógicos) se refieren con la expresión "si y solo si". Los dos primeros sentidos se refieren a relaciones entre las proposiciones, mientras que la conectiva "si y solo si" es un operador binario que sólo produce una nueva proposición, sin decir nada sobre los valores de verdad de los componentes ni de los del compuesto.

Nótese además que el sentido sintáctico y el sentido semántico de la equivalencia lógica coinciden para las fórmulas bien formadas del cálculo proposicional, pues por los metateoremas de validez y completez de dicho cálculo, la transformabilidad mutua por pasos sintácticamente válidos implica la equivalencia semántica, y viceversa.

En el estudio del grupo INRC de Piaget vamos a manejar clases de equivalencia de proposiciones, y no las proposiciones mismas. Este es la primera fuente de confusiones en el tratamiento del grupo de Piaget. Los operadores que se contemplan parecen actuar sobre las proposiciones, pero en realidad

actúan sobre las clases de equivalencia de proposiciones.

El espacio-objeto, o espacio afín, o campo de acción del grupo INRC de Piaget no es pues el conjunto de las fórmulas bien formadas del cálculo proposicional como suele creerse, sino el espacio cociente por la relación de equivalencia. Si notamos "FBF" el conjunto de las fórmulas bien formadas, y " $\approx$ " la relación de equivalencia (sintáctica o semántica), ese espacio sobre el que actúa el grupo no es FBF, sino  $FBF/\approx$ .

De cada clase de equivalencia es posible extraer un representante canónico, que puede ser la fórmula más corta de la clase, y en caso de empate entre fórmulas de la misma longitud, la que preceda a las demás en cierto orden lexicográfico; o mejor aún, como lo selecciona Piaget, el representante canónico puede ser la forma normal disyuntiva equivalente a cualquier fórmula de la clase, pues siempre es posible encontrar una forma normal disyuntiva en cada clase de equivalencia, y esa forma puede escogerse con todas las letras proposicionales de cada conjunción en orden alfabético, y con las conjunciones también en orden lexicográfico, suponiendo que la letra sin negación precede a la letra con negación.

Por ejemplo, para el caso que más nos interesa que es  $n = 2$ , tomando  $p = p_1$ ,  $q = p_2$ , tendríamos cuatro conjunciones de dos términos. Las cuatro conjunciones en orden lexicográfico serían:

$$p \wedge q, p \wedge \neg q, \neg p \wedge q, \neg p \wedge \neg q.$$

De ellas podemos seleccionar 16 subconjuntos para formar una disyunción de sus elementos, incluyendo por supuesto el conjunto lleno (que daría la disyunción de las cuatro conjunciones, equivalente a todas las tautologías), los cuatro subconjuntos unitarios (que darían solo la conjunción respectiva sin disyunción ninguna), y el conjunto vacío (que se asume equivalente a todas las antilogías).

Diez de esos subconjuntos producen formas normales disyuntivas que no son equivalentes a ninguna otra con menos letras proposicionales. (Sobre las 16 operaciones binarias, ver Inhelder y Piaget, 1972, pp. 247-259; ver también Flavell, 1978, pp. 232-235).

A menos que se adopten convenciones como transformar una fórmula dada en el representante canónico de su clase de equivalencia, luego aplicar la transformación piagetiana, y luego volver a transformar a la forma normal disyuntiva equivalente, es necesario trabajar con clases de equivalencia. De lo contrario, el resultado de la transformación no sería único, y ya es conocida la repugnancia de los lógicos y los matemáticos para aceptar operadores que no sean unívocos.

## 3. Los juegos lógicos del niño y el adolescente

Piaget notó que los niños que comprenden proposiciones condicionales lo suficientemente bien

como para poder jugar con ellas, pueden efectuar algunas transformaciones lógicas sencillas. Por ejemplo, un niño puede empezar a oír que apenas suena el timbre de la puerta, el perro ladra. Se hace la hipótesis de que si suena el timbre, el perro ladra. El niño no necesita codificación formal, pero nosotros podemos codificar esa hipótesis tomando la inicial de una palabra clave de la proposición para utilizarla como símbolo de la proposición. En este caso, seleccionamos la “t” de “timbre” para “Suena el timbre”, y la “p” de “perro” para “El perro ladra”, y simbolizamos la suposición que se hace el niño por: “ $t \rightarrow p$ ”.

Si alguna vez suena el timbre y el perro no ladra, el niño cae en la cuenta de que esa suposición no era correcta. En cierto sentido, al comprobar lo que simbolizamos por “ $t \wedge \neg p$ ”, cae en la cuenta de que la hipótesis que simbolizamos por “ $t \rightarrow p$ ” es falsa. Llamemos pues a la proposición que simbolizamos “ $t \wedge \neg p$ ”, “la negación de (o la negativa de)  $t \rightarrow p$ ”.

Si el niño cae en la cuenta de que el perro ve, oye o huele a la persona que va a tocar la puerta antes de que timbre, puede ensayar también la hipótesis recíproca de que si el perro ladra, suena el timbre.

Simbolizamos pues por “ $p \rightarrow t$ ” la recíproca de la condicional inicial. Si expresamos los resultados de estas transformaciones por medio de las formas normales disyuntivas equivalentes a ellas, obtenemos los siguientes resultados:

Proposiciones	Formas normales disyuntivas
$t \rightarrow p$	$(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)$
$t \wedge \neg p$	$(\neg p \wedge t)$
$p \rightarrow t$	$(p \wedge t) \vee (\neg p \wedge t) \vee (\neg p \wedge \neg t)$
$p \wedge \neg t$	$(p \wedge \neg t)$

Piaget notó que para lograr la transformación de una proposición condicional en su recíproca bastaba intercambiar cada letra proposicional no negada por su negación, y viceversa, y extendió el nombre de recíproca de una proposición cualquiera a la resultante de aplicar a su forma normal disyuntiva esa operación. Esta extensión de la transformación de reciprocación y de la relación de reciprocidad no es trivial. Si la proposición no es condicional, no es claro qué pueda ser su recíproca. ¿Cuál es por ejemplo la recíproca de  $p \wedge \neg t$ ?

Piaget, como todos nosotros, confundía fácilmente la operación con su resultado, y la transformación misma con la relación asociada. Para no caer en esas fuentes de confusión, distingamos la operación misma de reciprocación, que llamamos “reciprocación”, y el resultado de aplicarle esa operación a una proposición dada  $\beta$ , resultado al que llamamos “la recíproca de  $\beta$ ”, o un poco más alambicadamente, “la reciprocación de  $\beta$ ”. Distingamos también la transformación misma de reci-

procación, de la relación resultante entre la materia prima y el producto terminado, que llamamos “relación de reciprocidad”, o con su esquema de lectura, la relación “... es recíproca de...”

Simbolicemos el operador de reciprocación por una  $R$ , que se aplica a clases de equivalencia de proposiciones. En particular, en el ejemplo del timbre y el perro, notemos la clase de equivalencia de proposiciones equivalentes a  $t \rightarrow p$  encerrándola entre paréntesis cuadrados: “[ $t \rightarrow p$ ]”. Tendríamos entonces que:

$$R [t \rightarrow p] = [p \rightarrow t], \text{ y que } R [p \rightarrow t] = [t \rightarrow p]$$

Piaget también notó que si en la forma normal disyuntiva que corresponde a  $t \rightarrow p$  se intercambian las letras proposicionales que no aparecen negadas con sus negaciones y viceversa, y al mismo tiempo se intercambian las conjunciones  $\wedge$  con las disyunciones  $\vee$  y viceversa, se obtiene una fórmula equivalente a  $\neg p \wedge t$ , que sería la negación de la proposición  $t \rightarrow p$ . Simbolicemos el operador de negación por una  $N$ , que se aplica de nuevo a clases de equivalencia de proposiciones:  $N [t \rightarrow p] = [t \wedge \neg p] = [\neg p \wedge t]$ , y  $N [p \rightarrow t] = [p \wedge \neg t]$ .

La comprobación de que por ejemplo:

$$N[p \wedge t] \vee (\neg p \wedge t) \vee (\neg p \wedge \neg t) =$$

$$[(\neg p \vee \neg t) \wedge (p \vee \neg t) \wedge (p \vee t)] = [p \wedge \neg t],$$

es trivial, aunque engorrosa, pues requiere la utilización de la asociativa de la  $\wedge$ , de la recolectiva de la  $\vee$  sobre la  $\wedge$ , de la modulativa de la  $\vee$ , de la distributiva de la  $\wedge$  sobre la  $\vee$ , de nuevo de la modulativa de la  $\vee$ , y finalmente de la conmutativa de la  $\wedge$ .

Lo interesante del caso es que Piaget encontró que los niños que pueden entender cuál es la recíproca de una proposición dada, o cuál es la negación (o la negativa) de una proposición dada, pueden tal vez entender cuál es la recíproca de la recíproca, y cuál es la negación de la negación, pero se bloquean totalmente cuando se les pregunta cuál sería la recíproca de la negación, o la negación de la recíproca.

Para poder responder a esas preguntas, haría falta que construyeran una cuarta operación mental que produjera de una vez la negación de la recíproca, proposición a la que Piaget llama “la correlativa” de la proposición original. La operación misma debería llamarse “correlativización”. Al resultado de aplicar la correlativización a una proposición  $\beta$ , lo llamaremos con Piaget “la correlativa de  $\beta$ ”, o más alambicadamente, “la correlativización de  $\beta$ ”.

Además, los niños tendrían que comprobar que la correlativa de la correlativa es otra vez la original, y que la recíproca de la negación es la misma correlativa. Para eso, dice Piaget, es necesario haber pasado al estadio de pensamiento formal.

Si esa operación mental ha sido construída, podríamos definir un cuarto operador de correlativización,  $C$ , que actúa no ya sobre proposiciones aisladas sino sobre clases de equivalencia, y que completaría el sistema de transformaciones entre esas clases de equivalencia de proposiciones.

Si notamos la aplicación sucesiva de operadores unarios por medio del símbolo " $\circ$ ", podemos pensar en una operación binaria de composición de operadores. Este circuitito " $\circ$ " se suele leer "compuesto con", pero ello produce mucha confusión en los niños y adolescentes. Basta leerlo "aplicado después de", "después de", o simplemente "de". Por ejemplo, " $R \circ R$ " se puede leer "la recíproca de la recíproca", o " $R$  aplicado después de  $R$ ", o " $R$  después de  $R$ ", o " $R$  compuesto con  $R$ ".

Así, tendríamos que estos niños pueden entender que  $R \circ R$  es una operación que devuelve la proposición a su forma original, o sea que no le hace nada, y por lo tanto podrían definir un operador que no hace nada a sus víctimas o argumentos: el operador idéntico, que aplicado a  $\beta$  produce como resultado el mismo  $\beta$ , o el idéntico de  $\beta$ . Al operador que no les hace nada a las clases de equivalencia de proposiciones, lo llamamos "el operador idéntico", y lo notamos con una  $I$ .

Los niños podrían saber que  $R \circ R = I$ , que  $N \circ N = I$ , y no saber qué es  $N \circ R$ , ni qué es  $R \circ N$ , ni si esas dos combinaciones producen o no el mismo resultado. Piaget diría que esos niños manejan los grupos  $IR$  e  $IN$ , pero que no han completado el grupo  $INRC$ .

Este grupo formado por los cuatro operadores unarios,  $I, N, R, C$ , bajo la operación binaria " $\circ$ ", tiene estructura de grupo-cuatro de Klein ("Viererguppe"), y no de grupo cíclico de cuatro elementos. Piaget lo llamó "el grupo  $INRC$ ". Considero que su manejo revela la llegada del pensamiento formal, y que esa estructura profunda regulaba todos los aspectos del pensamiento hipotético-deductivo.

Al leer a Piaget, es fácil confundir las operaciones del grupo, que son unarias, con la operación interna del grupo, que es binaria. Es preferible hablar de "operadores" cuando son unarios, y de "operaciones" cuando son binarias, aunque al hablar con la máxima abstracción, es posible llamar a todas las operaciones "operadores", o a todos los operadores "operaciones", especificando la aridad o número de argumentos a los que se aplican.

Mantengamos claro que una cosa es el sistema al que pertenecen los operadores unarios  $I, N, R, C$ , que actúan sobre clases de equivalencia de proposiciones; otra las proposiciones mismas, y otra la operación que transforma parejas de operadores unarios en un nuevo operador unario. Así pudimos ver que no bastaban los operadores  $I, N, R$ , para que el sistema quedara cerrado bajo la operación de composición. Fue necesario completar los grupos  $IR$  e  $IN$  con una cuarta operación  $C$ , que llamamos

"correlativización", operación que actúa sobre la forma normal disyuntiva cambiando únicamente las conjunciones por las disyunciones y viceversa, pero dejando intactas las letras proposicionales y sus negaciones.

Como el resultado de aplicar  $C$  a una forma normal disyuntiva no es en general una forma normal disyuntiva, hay que hablar de clases de equivalencia, y considerar que el operador  $C$  actúa sobre esas clases de equivalencia. De lo contrario, no habría unicidad del resultado de la aplicación del operador. Tenemos pues, además de los operadores  $I$  de identificación,  $N$  de negación, y  $R$  de reciprocación, un cuarto operador  $C$  de correlativización.

Queda así completo el gupo  $INRC$  de Piaget, uno de los sistemas más sorprendentes que hayan aparecido nunca en la encrucijada de la psicología, la lógica y la epistemología.

Yo lo describiría como aquel sistema matemático que aparece en la psicología, y que ni los matemáticos ni los psicólogos entienden.

Espero que con la explicación dada sí se entienda qué es el grupo  $INRC$ , y cómo actúa sobre las proposiciones, o mejor aún, sobre las clases de equivalencia. Recapitulemos en forma un poco más rigurosa la información que tenemos sobre este grupo.

#### 4. Detalles técnicos del grupo $INRC$

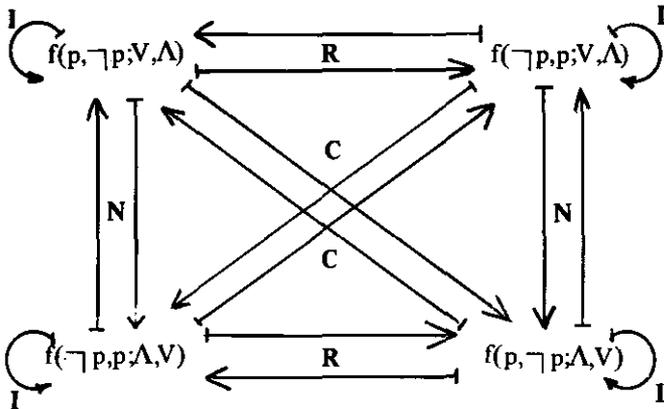
Sea  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$  la clase de equivalencia de todas las fórmulas bien formadas del cálculo proposicional que sean equivalentes (sintáctica o semánticamente) a una forma normal disyuntiva expresada como una disyunción de conjunciones de  $n$  términos, cada uno de los cuales puede ser solo una de las letras proposicionales  $p = p_1, q = p_2, p_3, \dots$  hasta  $p_n$ , en orden alfabético descendente, o su negación (pero no ambas), en la cual disyunción las conjunciones estén también ordenadas en orden lexicográfico descendente, suponiendo que cada letra proposicional  $p_i$  sin negación procede a  $\neg p_i$ .

Debe insistirse en que el símbolo " $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ " no representa la forma normal disyuntiva misma, sino su clase de equivalencia. Recordemos que el uso de clases de equivalencia es necesario, pues al aplicar esas transformaciones a una forma normal disyuntiva no necesariamente aparece una forma normal disyuntiva, sino que se requerirían tal vez muchas transformaciones para encontrar la forma normal disyuntiva equivalente al resultado inmediato. Además, sin clases de equivalencia no hay un resultado único de la operación. Un artificio que en apariencia evita las clases de equivalencia es el de utilizar el representante canónico de cada clase de equivalencia cuando éste existe y es único. Lo que se presupone es que, dada una fórmula bien formada cualquiera, se busca su clase de equivalencia y se selecciona el representante canónico; después de aplicar la transformación al representante canónico, si el resultado no es un

representante canónico, se busca el representante de la clase a la que pertenece el resultado.

Utilizamos el símbolo “ $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ ” para mostrar la dependencia que tiene la clase de equivalencia del hecho de tener en cada miembro de la disyunción cada letra proposicional sin negación, o su negación, pero no ambas, y del hecho de que las formas normales disyuntivas tienen a lo más disyunciones y conjunciones; de esta manera, la transformación que intercambia cada letra proposicional que aparece sin negación por su negación, o viceversa, puede indicarse intercambiando el par  $p, \neg p$  en el símbolo; la transformación que intercambia conjunciones y disyunciones, intercambiando el par  $V, \Lambda$  en el símbolo, y la transformación combinada, intercambiando ambos pares.

El diagrama del grupo INRC es el siguiente:



Así podemos expresar los cuatro operadores del grupo INRC en la siguiente forma:

**I:** El operador de **identificación**, u operador **idéntico**, que aplicado a una clase de equivalencia  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$  lo deja como estaba. El resultado  $I(f(p, \neg p; V, \Lambda))$  es pues la misma clase  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ , o la **idéntica** de  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ :

$$I(f(p, \neg p; V, \Lambda)) = f(p, \neg p; V, \Lambda).$$

**N:** El operador de **negación**, que aplicado a una clase de equivalencia  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$  produce la clase de equivalencia de la fórmula resultante de intercambiar cada letra proposicional que aparece sin negación por su negación, y viceversa, y de intercambiar las conjunciones por disyunciones, y viceversa. El resultado  $N(f(p, \neg p; V, \Lambda))$  es pues la clase  $f(\neg p, p; \Lambda, V)$ , la **negativa** de  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ :

$$N(f(p, \neg p; V, \Lambda)) = f(\neg p, p; \Lambda, V).$$

**R:** El operador de **reciprocación**, que aplicado a una clase de equivalencia  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$  produce la clase de equivalencia de la fórmula que resulta de intercambiar cada letra proposicional que no aparezca negada por su negación, y viceversa. El resultado  $R(f(p, \neg p; V, \Lambda))$  es la clase  $f(\neg p, p; V, \Lambda)$ : la **recíproca** de  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ :

$$R(f(p, \neg p; V, \Lambda)) = f(\neg p, p; V, \Lambda).$$

**C:** El operador de **correlativización**, que aplicado a una clase de equivalencia  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$  produce la

clase de equivalencia de la fórmula que resulta de intercambiar cada conjunción por una disyunción, y viceversa. El resultado  $C(f(p, \neg p; V, \Lambda))$  es la clase  $f(p, \neg p; \Lambda, V)$ , la **correlativa** de  $f(p, \neg p; V, \Lambda)$ :

$$C(f(p, \neg p; V, \Lambda)) = f(p, \neg p; \Lambda, V).$$

Volviendo al sencillo ejemplo del timbre que suena y el perro que ladra, tendríamos que la hipótesis inicial que se formula el niño es, en símbolos,  $t \rightarrow p$ , que es equivalente a una cierta forma normal disyuntiva:

$$t \rightarrow p \approx (p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t).$$

La clase de equivalencia puede pues notarse “[ $t \rightarrow p$ ]” o “[ $(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)$ ]”. Con clases de equivalencia, “ $\approx$ ” puede remplazarse por la igualdad “=”:

$$[t \rightarrow p] = [(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)].$$

Así pues, el operador **I** actúa en esta forma sobre la clase de  $t \rightarrow p$ :

$$I[t \rightarrow p] = I[(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)] =$$

$$[(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)] = [t \rightarrow p].$$

Veamos cómo actúa la negación **N**. Como ya habíamos visto que:

$$(\neg p \vee \neg t) \wedge (\neg p \vee t) \wedge (p \vee t) \approx (\neg p \wedge t) \approx (t \wedge \neg p),$$

la clase de equivalencia es la misma:

$$[(\neg p \vee \neg t) \wedge (\neg p \vee t) \wedge (p \vee t)] = [(\neg p \wedge t)] = [(t \wedge \neg p)]$$

Así pues, el operador **N** actúa así sobre la clase de  $t \rightarrow p$ :

$$N[t \rightarrow p] = N[(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)] =$$

$$[(\neg p \vee \neg t) \wedge (\neg p \vee t) \wedge (p \vee t)] = [(\neg p \wedge t)] = [(t \wedge \neg p)]$$

La negación de (la clase de equivalencia de) la proposición que dice que si el timbre suena, el perro ladra, es (la clase de equivalencia de) la proposición que dice que el timbre suena y el perro no ladra.

El operador de reciprocación **R** actúa así sobre la clase de  $t \rightarrow p$ :

$$R[t \rightarrow p] = R[(p \wedge t) \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge \neg t)] =$$

$$[(\neg p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge t) \vee (p \wedge t)] =$$

$$[(p \wedge t) \vee (\neg p \wedge t) \vee (\neg p \wedge \neg t)] = [p \rightarrow t].$$

La reciprocación de (la clase de equivalencia de) la proposición que dice que si el timbre suena, el perro ladra, es (la clase de equivalencia de) la proposición que dice que si el perro ladra, el timbre suena.

El operador de correlativización **C** actúa así sobre la clase de  $t \rightarrow p$ :

$$C[t \rightarrow p] = C[p \wedge t] \vee (p \wedge \neg t) \vee (\neg p \wedge t) = [(p \vee t) \wedge (p \vee \neg t) \wedge (\neg p \vee \neg t)] = [(p \wedge \neg t)].$$

La correlativización de (la clase de equivalencia de) la proposición que dice que si el timbre suena, el perro ladra, es (la clase de equivalencia de) la proposición que dice que el perro ladra y el timbre no suena.

Si recordamos que  $R[t \rightarrow p] = [p \rightarrow t]$ , y que

$$N[p \rightarrow t] = N[p \wedge t] \vee (\neg p \wedge t) \vee (\neg p \wedge \neg t) = [(\neg p \vee \neg t) \wedge (p \vee \neg t) \wedge (p \vee t)] = [(p \wedge \neg t)],$$

podemos comprobar directamente en este caso que:

$$N[p \rightarrow t] = N(R[t \rightarrow p]) = (N^{\circ}R)[t \rightarrow p] = C[t \rightarrow p].$$

Esto vale por supuesto para toda clase de equivalencia, por lo cual escribimos con toda generalidad:  $N^{\circ}R = C$ . Igualmente podríamos comprobar que  $R^{\circ}N = C$ , y en general, que toda pareja de operadores conmuta, o sea que el grupo INRC es abeliano.

La tabla de Cayley de un grupo finito de operadores es una manera sinóptica de representar los resultados de todas las operaciones de ese grupo en una tabla de doble entrada, en la que se lee el primer operador en la columna de la izquierda, la composición en el vértice superior, el segundo operador en la fila superior, y el resultado en el cuarto vértice del rectángulo así formado.

La tabla de Cayley del grupo INRC de Piaget es la siguiente:

◦	I	N	R	C
I	I	N	R	C
N	N	I	C	R
R	R	C	I	N
C	C	R	N	I

Con estos preliminares sobre el grupo INRC de Piaget, pasemos a estudiar los dos nuevos grupos piagetianos que he encontrado en mis investigaciones lógicas.

## 5. El Grupo IKRC

Tratando de trabajar el grupo INRC con niños y jóvenes, noté que la reciprocación se entiende mucho más fácilmente que la negación, y por supuesto que la correlativización. Mi hipótesis de trabajo es que esta facilidad se debe a que la reciprocación no se sale de la clase de las proposiciones condicionales: la recíproca de una condicional es de nuevo una condicional, mientras que la negativa y la correlativa de una condicional no son condicionales sino conjunciones.

Por lo que he observado en otras investigaciones, esta clase de proposiciones condicionales del cálculo proposicional no es tan clara para los niños como la clase de las instrucciones condicionales, que son las que han estado oyendo desde pequeños. Prefiero pues trabajar con lo que podríamos llamar "cálculo instruccional" en los primeros grados de primaria, y no con el cálculo proposicional

que presentan los libros de texto. Pero prescindamos por ahora de este problema.

Dentro del mundo de las condicionales se da además otro problema: el de la secuencia temporal, pues en las condiciones usuales, como la que anotamos arriba sobre el timbre que suena y el perro que ladra, hay una demora entre el cumplimiento del antecedente, y la verificación del consecuente. Por lo tanto, la recíproca no puede considerarse simplemente como un cambio de orden de los símbolos: también se cambia la secuencia temporal. (Ver Vasco, C.E., 1983).

El nuevo grupo que encontré actúa únicamente sobre las proposiciones condicionales. El operador inicial es el que se deriva de la transformación de una proposición en su recíproca:  $p \rightarrow q$  se convierte en  $q \rightarrow p$  (que también se puede notar " $p \leftarrow q$ " cuando se supone conocida la secuencia temporal).

Este grupo actúa pues solo sobre proposiciones cuya conectiva principal es una implicación material  $\rightarrow$  o su recíproca  $\leftarrow$ , que en el lenguaje ordinario se podrían leer "si..., entonces..." y "... si..." respectivamente, o de muchas otras maneras equivalentes. A este tipo de proposiciones condicionales las llamaremos simplemente "condicionales".

De nuevo en este caso se deben utilizar clases de equivalencia, aunque ahora mucho más restringidas que las clases de equivalencia sintáctica (o semántica) utilizadas en los otros grupos piagetianos.

Al nuevo tipo de clase de equivalencia de la condicional  $p \rightarrow q$  la notamos " $[p \rightarrow q]$ ".

La caja por debajo de la condicional significa que se debe tomar la clase de equivalencia de todas las condicionales que puedan reducirse a ella por eliminación de todas las dobles negaciones. Es necesario utilizar estas clases de equivalencia más restringidas, pues en cálculo proposicional la condicional  $p \rightarrow q$  es equivalente sintáctica y semánticamente a su contra-recíproca  $\neg q \rightarrow \neg p$ , mientras que al manejar el grupo que encontré, los niños y jóvenes no consideran que sean equivalentes. Mi ejemplo favorito es el siguiente:

Supongamos que el director del coro dice: "Si no llueve, no seguimos cantando", lo que podríamos simbolizar " $\neg ll \rightarrow \neg c$ ". Esa declaración de su intención de aprovechar el día soleado, no es en ninguna forma equivalente a su contra-recíproca " $c \rightarrow ll$ ", o sea "Si seguimos cantando, llueve". Nos habríamos pasado a la mitología criolla sobre los efectos atmosféricos de cantar desafinadamente.

Utilizaremos pues las clases de equivalencia restringidas, en las que las condicionales de la clase difieren a lo más por dobles negaciones, para que las contra-recíprocas no resulten equivalentes.

Conservaremos también la enunciación de la conectiva principal de la condicional original; por eso la recíproca de la condicional "Si  $p$ ,  $q$ " o " $p \rightarrow q$ ", será "Si  $q$ ,  $p$ " o " $q \rightarrow p$ ". (Si la original fuera " $p$  si  $q$ " o " $p \leftarrow q$ ", su recíproca sería " $q$  si  $p$ " o " $q \leftarrow p$ ").

Para no tener que usar clases de equivalencia, se podría de nuevo utilizar como representante canónico de cada clase, la condicional que tenga el mínimo número de negaciones, y asumir que después de aplicar cada transformación, se eliminan todas las dobles negaciones. Pero trabajaremos este grupo con clases de equivalencia restringidas.

Ya sabemos cómo utilizar el operador de reciprocación  $R$ , y por supuesto, el operador idéntico  $I$ .

Además de la recíproca de una condicional, los niños hacen una conversión que los lógicos no aceptan: Si el padre les dice algo así como: "Si terminas las tareas, vas a cine", el niño completa mentalmente "y si no, no". Esta coletilla implícita hace que la condicional del padre sea muy fuerte: una verdadera bicondicional.

Ya el Profesor Carlo Federici Casa había notado que los niños distinguen muy bien la "o exclusiva" de la "o inclusiva" en las instrucciones (o mejor, amenazas) disyuntivas que les dan sus padres, y que identifican la primera con la "o del papá", y la segunda con la "o de la mamá". En efecto, si el padre dice: "O comes helado, o tomas gaseosa", el niño sabe muy bien que solo puede elegir una de las dos cosas: la disyunción es fuerte o exclusiva. Pero si es la madre la que dice eso, sabe que si llora lo suficiente, muy probablemente podrá tomar helado y gaseosa: la disyunción es débil o inclusiva.

En la misma forma, encontré que los niños distinguen muy bien la bicondicional, o sea la condicional fuerte o condicional del papá, que se podría codificar "si..., ..., (y si no no)", de la condicional débil o condicional de la mamá, que se codificaría más bien "si..., ..., (y si no, todavía no he resuelto)". Por eso, al oír al padre decir: "Si terminas las tareas, vas a cine", los niños automáticamente concluyen "y si no las termino, no voy". Para que esta transformación sea válida, la conectiva no puede ser la mera implicación material, sino la bicondicional.

Para la conectiva bicondicional o doble implicación material, ni los niños ni ninguna persona normal utiliza la denominación usual entre los matemáticos y los lógicos: "si y solo si". Propongo pues que se use "si..., ..." para leer el símbolo " $\leftrightarrow$ ", "...si..." para leer " $\Leftarrow$ ", y "si..., ... y si no no" para leer " $\Leftrightarrow$ ". (Si se quiere enfatizar el orden temporal, puede añadirse una indicación de qué miembro de la condicional debe ocurrir después. Ver Vasco, C.E., 1983).

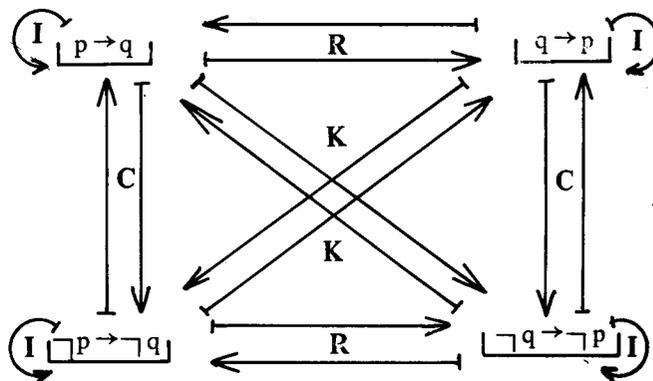
Esa transformación de la proposición: "Si terminas las tareas, vas a cine" (que notamos " $t \rightarrow c$ ") en su contraria: "Si no terminas las tareas, no vas a cine" (que notamos " $\neg t \rightarrow \neg c$ "), define pues un operador sobre clases de equivalencia, el operador de contrariación  $C$ , ahora diferente de la correlativización del grupo INRC de Piaget.

¿Qué pasa si aplicamos  $C$  después de  $R$ , o viceversa? Es la misma pregunta que se hacía Piaget, pero ahora con otros operadores.

Ya clásicamente podíamos saber que la contraria de la recíproca se llama la "contra-recíproca". Podíamos pues abreviar  $C^{\circ}R = CR$ , pero para no utilizar dos letras, abreviemos " $K$ " al operador resultante de aplicar  $C$  después de  $R$ :  $C^{\circ}R = K$ . Llamémoslo "el operador de contra-reciprocación". Tenemos pues cuatro operadores:  $I$ ,  $K$ ,  $R$ ,  $C$ . Estos cuatro operadores con la operación binaria de composición o aplicación sucesiva, que notamos " $\circ$ ", forman un grupo abeliano, distinto, pero isomorfo al grupo INRC de Piaget. Lo llamo "el grupo IKRC".

## 6. Detalles técnicos del Grupo IKRC

Con estas observaciones, podemos pasar a describir el diagrama del grupo y los cuatro operadores del grupo IKRC. El diagrama es el siguiente:



Los cuatro operadores  $I, K, R, C$  pueden explicitarse así:

**I:** El operador de **identificación**, también llamado "el operador idéntico". Sea  $[p \rightarrow q]$  una clase de equivalencia de condicionales que difieren solo por dobles negaciones. El operador idéntico aplicado a esta clase la deja invariante. El resultado  $I([p \rightarrow q])$  es la misma clase, o sea la idéntica de  $[p \rightarrow q]$ :  $I([p \rightarrow q]) = [p \rightarrow q]$ .

Para casos particulares, es posible por ejemplo que  $p \rightarrow q$  aparezca en la forma  $\neg\neg p \rightarrow \neg\neg q$ , que no es idéntica a la forma original, pero que ciertamente es equivalente a ella con la relación de equivalencia que estamos utilizando en este contexto, o sea por eliminación de dobles negaciones.

**K:** El operador de **contra-reciprocación**, que transforma la clase de equivalencia de la condicional  $p \rightarrow q$  en la clase de equivalencia de su contra-recíproca  $\neg q \rightarrow \neg p$ . El resultado  $K([p \rightarrow q])$  es la **contra-recíproca** de  $[p \rightarrow q]$ :

$$K([p \rightarrow q]) = [\neg q \rightarrow \neg p]$$

**R:** El operador de **reciprocación**, que transforma la clase de equivalencia de la condicional  $p \rightarrow q$  en la clase de equivalencia de su recíproca  $q \rightarrow p$ . El resultado  $R([p \rightarrow q])$  es la **recíproca** de  $[p \rightarrow q]$ :  $R([p \rightarrow q]) = [q \rightarrow p]$ .

**C:** El operador de **contrariación**, que transforma la clase de equivalencia de la condicional  $p \rightarrow q$

en la clase de equivalencia de su contraria  $\neg p \rightarrow \neg q$ . El resultado  $C(p \rightarrow q)$  es la contraria de  $p \rightarrow q$ :  $C(p \rightarrow q) = \neg p \rightarrow \neg q$

La tabla de Cayley del grupo IKRC es la siguiente:

o	I	K	R	C
I	I	K	R	C
K	K	I	C	R
R	R	C	I	K
C	C	R	K	I

Si cambiamos la K por la N, volvemos a obtener la misma tabla del grupo INRC. Por eso decimos que la aplicación que envía cada operador I, R, C del grupo IKRC en el que se nota en la misma forma en el grupo INRC, y el operador K del grupo IKRC en el operador N del grupo INRC es un isomorfismo de grupos, y por lo tanto que los grupos INRC e IKRC son isomorfos.

## 7. El Grupo INAC

En una investigación patrocinada por COLCIENCIAS y el Colegio de CAFAM, dirigida por Eloísa Vasco, desarrollé una prueba para determinar algunos de los aspectos del pensamiento formal en los adolescentes de ese Colegio, prueba que se ha aplicado después en otras investigaciones sobre pensamiento formal. Una de las dimensiones de la prueba es el manejo de los cuantificadores. (Ver Vasco, E., 1981 y 1983).

La teoría clásica de la cuantificación de las proposiciones de dos términos utilizadas en la silogística, puede resumirse en el famoso cuadro de las oposiciones de la lógica medieval.

En este tipo de proposiciones cuantificadas se consideraron dos aspectos: la cantidad de la proposición (universal o particular) y la calidad de la misma (afirmativa o negativa). Así se codificaron en la lógica medieval los cuatro tipos de proposiciones resultantes, utilizando las dos primeras vocales de los verbos latino "AFFIRMO" y "NEGO", la primera vocal para la universal y la segunda para la particular.

A para la universal afirmativa: Todos los S son P;

I para la particular afirmativa: Algún S es P (o algunos S son P);

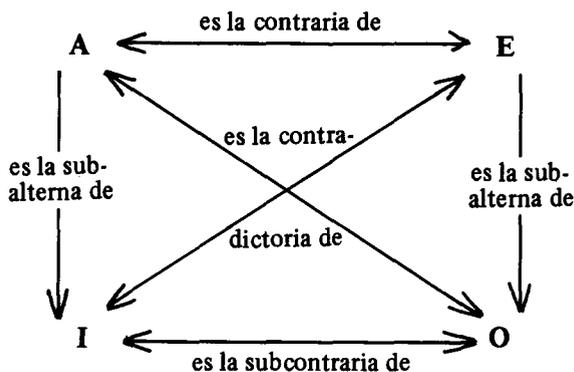
E para la universal negativa: Ningún S es P, y

O para la particular negativa: Algún S no es P (o Algunos S no son P).

El cuadro de las oposiciones empieza por la oposición entre las proposiciones contrarias A y E en el borde superior, y continúa con las contradictorias: A y O por un lado, y E e I por el otro. En efecto, para contradecir a alguien que afirme que todos los S son P (A), basta mostrarle que algún S no es P (O); y para contradecir a quien afirme que ningún S es P (E), basta mostrarle que algún S es P (I).

Para completar el cuadrado de las oposiciones, Pedro Lombardo decidió llamar "subcontrarias" a la I y la O, simplemente porque estaban colocadas debajo de las contrarias. Como no se veía claramente la relación entre la A y la I por un lado, y la E y la O por el otro, tal vez pensando en las jerarquías medievales, se dijo que la I era subalterna de la A, y la O subalterna de la E. La Relación de subcontrariedad se consideraba distinta de la de contrariedad, y la relación de subalternación era claramente unidireccional.

Así, el cuadrado de las oposiciones alcanzó esa forma armónica que ha durado siete siglos.



Si en los últimos grados de primaria se juega con proposiciones cuantificadas de la aritmética y de la geometría, se puede verificar que los niños transforman fácilmente una proposición universal en su contraria, confundiéndola a veces con la negación de la misma.

Se les puede preguntar, por ejemplo, qué es todo lo contrario de "Todos los cuadrados son rectángulos"; o se les puede pedir que se vayan al otro extremo de "Ningún divisor de doce es divisor de nueve".

A través de un juego que hemos llamado "¡A que no me contradice!", en el que se les pregunta qué es lo mínimo necesario que hay que decir para contradecir al profesor, los niños aprenden rápidamente la contradictoria de cualquier proposición de cada uno de los cuatro tipos. No hay nada que les guste más a los alumnos que contradecir al profesor.

Se les puede decir por ejemplo: "Yo digo que todos los números impares son primos. ¡A que no me contradicen!". Si alguien exclama "Ningún impar es primo", se le pide que piense si eso es lo mínimo que hay que decir para contradecir, y se le hace caer en la cuenta de que las dos frases son falsas, y por lo tanto la una no contradice a la otra.

Además de aprender a auto-afirmarse, los niños también aprenden a distinguir la contraria de la contradictoria, y a reconocer la equivalencia entre la negación de una proposición cuantificada y su contradictoria: "No todos los estudiantes pasan el curso" es equivalente a la contradictoria de "Todos los estudiantes pasan el curso", que es: "Algunos

estudiantes no pasan el curso”, lo mínimo necesario para contradecir a quien afirme que todos pasan.

Podríamos pues afirmar que estos niños dominan esta transformación de una proposición en su negación o su contradictoria. Podemos pues codificar esa transformación con un operador de negación, que podemos notar con una “N”, que aplicamos a la clase de equivalencia de las proposiciones lógicamente equivalentes con una dada.

También podemos introducir un operador de contrariación, que podemos notar con una “C”; pero tendríamos que ponernos de acuerdo en que este mismo operador transforma la clase de equivalencia de una proposición de tipo I en la correspondiente de tipo O, y viceversa. Así, la contraria de “algunos estudiantes pasan el curso” es “Algunos estudiantes no pasan el curso”, y viceversa.

Esta extensión de la relación de contrariedad y del operador de contrariación es una creación conceptual que ocurre por olvido activo de la distinción inicial entre las contrarias y las subcontrarias. Es una típica coordinación de operaciones mentales a la manera piagetiana.

Es posible que los alumnos mismos encuentren que la negación de la negación de una proposición es otra vez equivalente a la original, y que la contraria de la contraria es de nuevo equivalente a la original. Tendríamos pues también el operador idéntico sobre clases de equivalencia restringidas, que podríamos codificar con una “I”, y podríamos comprobar que  $N^{\circ}N = I$  y que  $C^{\circ}C = I$ .

Pero, ¿qué es la negación de la contraria? ¿Y la contraria de la negación? Estas son las preguntas que se hacía Piaget a propósito de las proposiciones del cálculo proposicional. Pero ahora estamos en el cálculo de predicados. En él nos encontramos con la misma dificultad de antes: los niños parecen poder manejar el grupo IN y el grupo IC, pero no pueden completar todo el sistema.

Con un poco de exploración, al aplicar repetidamente la negación y la contrariación en cualquier orden, es posible encontrar que las proposiciones de tipo A alternan con las de tipo I, y las de tipo E con las de tipo O. Tendríamos pues una transformación que podríamos llamar “alternación”, y un nuevo operador de alternación sobre clases de equivalencia restringidas que podemos notar con una “A” (que no debe confundirse con la A del tipo universal afirmativo).

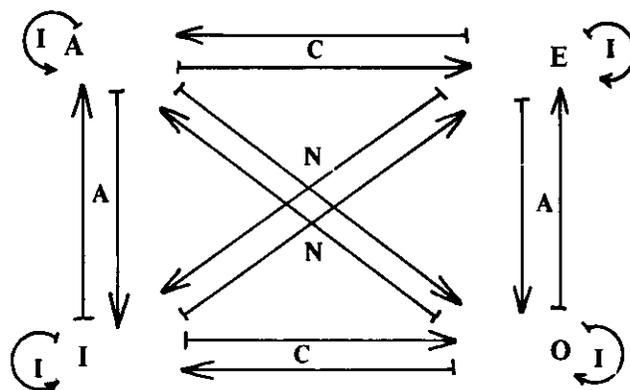
Se trata de la creación de una nueva relación de alternancia y de un nuevo operador de alternación, que hace reversible la anterior relación unidireccional de subalternancia, y que hace invertible el operador que transforma una proposición universal en su subalterna. Es un típico caso de reversibilidad de las operaciones mentales, precisamente de la manera postulada por Piaget.

Si superamos pues las relaciones estáticas, y pensamos en transformaciones activas, coordinadas y reversibles, la jerarquía medieval de las oposicio-

nes se torna viva y dinámica, y aparece un grupo formado por los cuatro operadores I, N, A, C, bajo la operación binaria de composición o aplicación sucesiva, que notamos “o”. A este grupo lo he llamado “el grupo INAC”.

### 8. Detalles técnicos del grupo INAC.

El diagrama del grupo es el siguiente:



Cada una de las mayúsculas grandes en negrilla representa una clase de equivalencia compuesta por todas las fórmulas equivalentes a una fórmula cuantificada de dos términos del tipo respectivo (A, E, I, O), escrita en su forma normal.

Llamemos “Q” al cuantificador, que debe ser sólo uno de los siguientes:  $\forall x$  para el tipo A,  $\exists x$  para el tipo I,  $\neg \exists x$  para el tipo E,  $\neg \forall x$  para el tipo O. Llamemos “s” al sujeto  $S(x)$ , “p” al predicado  $P(x)$ , y omitamos la conectiva respectiva, que debe ser la  $\rightarrow$  para los tipos A, O, en los que figura una  $\forall$ , y la  $\wedge$  para los tipos I, E, en los que figura una  $\exists$ . Con esas convenciones, podemos abreviar todas las formas normales con el símbolo “Qsp”.

Pero no debe olvidarse que las formas normales son:

Para el tipo A: $\forall x (S(x) \rightarrow P(x))$ :	Asp.
Para el tipo I: $\exists x (S(x) \wedge P(x))$ :	Isp.
Para el tipo E: $\neg \exists x (S(x) \wedge P(x))$ :	Esp.
Para el tipo O: $\neg \forall x (S(x) \rightarrow P(x))$ :	Osp.

Ordinariamente para el tipo O se considera la forma  $\exists x (S(x) \wedge \neg P(x))$ , que es equivalente a la última, pero que en esta convención no estaría en forma normal. Por eso hay que usar clases de equivalencia, o transformar primero la proposición cuantificada inicial en el representante canónico de su clase de equivalencia, aplicar luego la transformación, y volver a transformar el resultado en el representante canónico de su clase de equivalencia, que en este caso es la forma normal del resultado de la transformación. Escribamos pues [Qsp] para la clase de equivalencia de la proposición cuantificada Qsp.

Después de estas observaciones preliminares podemos representar los operadores del grupo INAC en la siguiente forma:

**I:** El operador de **identificación**, también llamado “el operador **idéntico**”, que no hace nada al ar-

gumento [Qsp]. El resultado I[Qsp] es la misma clase [Qsp], o la idéntica de [Qsp]:  $I[Qsp] = [Qsp]$ .

**N:** El operador de **negación**, que en este caso es el mismo operador de **contradicción**, que aplicado a la clase de equivalencia de cualquier proposición cuantificada Qsp, la transforma en la de su negativa o su contradictoria, es decir, en la de la proposición mínima que contradice la proposición inicial Qsp; en efecto, esta es  $\neg Qsp$  o su forma normal equivalente, que es la negativa de Qsp.

El resultado N[Qsp] es la **negativa** de [Qsp], que es lo mismo que la **contradictoria** de [Qsp]:  $N[Qsp] = [\neg Qsp]$ .

**A:** El operador de **alternación**, que intercambia los dos tipos afirmativos entre sí (A con I e I con A), y los dos tipos negativos entre sí (E con O y O con E).

El operador de alternación transforma la **cantidad**, pero no la **calidad** de Qsp. El resultado A[Qsp] es la **alterna** de [Qsp].

Clásicamente, la I se llamaba “la **subalterna** de A”, y la O se llamaba “la **subalterna** de E”, pues se consideraba solo una relación unidireccional. En el nuevo grupo, la relación de alternancia ha sido simetrizada activamente.

**C:** El operador de **contrariación**, que transforma la **calidad**, pero no la **cantidad** de Qsp, intercambiando los dos tipos universales entre sí (A con E y E con A), y los dos tipos particulares entre sí (I con O y O con I). El resultado C[Qsp] es la **contraria** de [Qsp].

Clásicamente, la relación entre la A y la E se consideraba diferente de la relación entre la I y la O. La A y la E se llamaban “**contrarias**”, y la I y la O se llamaban “**subcontrarias**”. En el nuevo grupo, la relación de contrariedad ha sido extendida activamente.

La tabla de Cayley del grupo INAC es la siguiente:

o	I	N	A	C
I	I	N	A	C
N	N	I	C	A
A	A	C	I	N
C	C	A	N	I

Si cambiamos la A por la R, volvemos a obtener la tabla del grupo INRC. Este grupo INAC es

por lo tanto distinto del grupo INRC, pero isomorfo al mismo.

## 9. Conclusión

Hemos encontrado pues que las transformaciones que pueden hacer los niños y adolescentes sobre proposiciones condicionales y cuantificadas, pueden codificarse rigurosamente como dos nuevos grupos de cuatro operadores, ambos con la misma estructura de grupo-cuatro de Klein (“Viererguppe”), y por lo tanto isomorfos con el grupo INRC de Piaget.

Hemos comprobado como lo hizo Piaget la misma facilidad de manejo de un solo operador que tienen los niños, y la misma dificultad en coordinar dos de los operadores para obtener el operador idéntico y el cuarto operador del grupo. Una vez obtenido activamente ese cuarto operador, el sistema se cierra, y adquiere esa estabilidad o equilibrio que, según Piaget, caracteriza el pensamiento formal.

No pretendemos por supuesto que los niños y adolescentes puedan formular explícitamente los operadores y distinguir claramente las proposiciones de sus clases de equivalencia, pero hemos comprobado también que muchos adultos que ciertamente son pensadores formales tienen serias dificultades para captar las distinciones entre los operadores y las relaciones correspondientes, entre las operaciones mismas y sus resultados, entre los operadores sobre proposiciones y sobre clases de equivalencia, etc. Tal vez por eso las exposiciones sobre el grupo de Piaget adolecen de tan serios defectos, y producen reacciones negativas entre los matemáticos y entre los psicólogos, en lugar de despertar la admiración y el placer estético que se merece el grupo INRC.

El dominio de estos tres grupos piagetianos, el INRC, el IKRC y el INAC, puede no ser el aspecto más importante del pensamiento formal, pero ciertamente revela una capacidad de juego lógico con proposiciones cuyo contenido no es importante para el juego, y cuyo valor de verdad puede ser desconocido o aun contrafáctico, capacidad que bien puede llamarse con justicia “pensamiento formal”.

Al menos, quienes han tenido la paciencia de seguir en forma comprensiva este discurso (y digo “comprensiva” en todos los sentidos de la palabra), ciertamente deben clasificarse (y eso también en varios sentidos de la palabra), como pensadores formales.

## BIBLIOGRAFIA

- BETH, E.W. y PIAGET, J. (1968). *Relaciones entre la lógica formal y el pensamiento real*. Madrid: Ciencia Nueva. [Original francés. París, PUF, 1961]
- DEL VAL, J.A. (Ed.) (1977). *Investigaciones sobre lógica y psicología*. Madrid: Alianza Editorial.
- FLAVELL, J.H. (1978). *La psicología evolutiva de Jean Piaget*. (5a. edición). Buenos Aires: Paidós. [Original inglés. Princeton, NJ: Van Nostrand, 1963]
- GRUBER, H.E. & VONECHE, J.J. (Eds.) (1977). *The essential Piaget*. New York: Basic Books.
- INHELDER, B. y PIAGET, J. (1972). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires: Paidós. [Original francés. París: PUF, 1955].
- MUSSEN, P.H. (Ed.) (1983). *Handbook of Child Psychology*. (4th edition). (4 vols.). New York: John Wiley & Sons.
- PIAGET, J. (1980). *Problemas de Psicología Genética* (4a. edición). Barcelona, etc.: Ariel. [Original francés. París: Denoël-Gonthier, 1972].
- PIAGET, J. e INHELDER, B. (1980). *Psicología del niño*. (9a. edición). Madrid: Morata. [Original francés: París: PUF, 1966].
- VASCO, C.E. (1983). "Conectivas secuenciales y la formalización del lenguaje ordinario". *Matemática-Enseñanza Universitaria*, n. 22, 12-23.
- VASCO, E. (1981). *El desarrollo del pensamiento abstracto en una población de estudiantes de secundaria en Bogotá*. (Tesis doctoral). Fort Lauderdale, FL/Bogotá, D.E. Nova University/CINDE. [Proyecto COLCIENCIAS 97259-5-01-79].
- VASCO, E. (1983). "El desarrollo del pensamiento abstracto en una población de estudiantes de secundaria en Bogotá", *Encuentros (CAFAM)*, 1, 63-85.

# DIFERENCIAS DE VARIABLES BINOMIALES

Por Gabriel Poveda Ramos

0. Es bien sabido que en el siglo XVIII el gran matemático Daniel Bernouilli dedujo la fórmula que hoy conocemos con su nombre y que da lugar a la llamada distribución binomial de probabilidad. Dicha fórmula da la probabilidad de que, al extraer aleatoriamente (y con reposición) una muestra de  $m$  elementos de un universo estadístico cuyos miembros pueden poseer (o no poseer) una cierta característica o propiedad  $E$ , en la muestra aparezca un número determinado  $r$  de elementos que poseen esa propiedad. Si la probabilidad de que un elemento al azar del universo tenga la característica  $E$  es  $p$ , entonces la probabilidad buscada es

$$f_r = \binom{m}{r} p^r (1-p)^{m-r} \quad (0.01)$$

Este resultado es muy usado en problemas de control de calidad y en muchas otras aplicaciones de la Teoría de Probabilidades a problemas estadísticos. Un ejemplo de estas aplicaciones es el de la efectividad de una droga: Si admitimos que la droga es eficiente en una fracción  $p$  de todos los enfermos humanos, entonces la probabilidad de que al tomar  $m$  enfermos y aplicarles la droga, resulte efectiva para  $r$  de ellos, viene dada por la fórmula (0.01) de Bernouilli.

1. La fórmula (0.01) puede usarse para resolver el problema inverso, de inferencia estadística, que consiste en lo siguiente: Supongamos que no conocemos el valor de la probabilidad  $p$ , que se llama la "probabilidad *a priori*", pero se sabe que la característica  $E$  (como ser aliviados por la droga) ha aparecido en  $r$  miembros de los  $m$  elementos que forman una muestra aleatoria simple, extraídos con reposición del universo en cuestión (como ser, por ejemplo, todos los afectados de cierta dolencia), el problema es estimar la probabilidad *a priori*  $p$ .

Según el criterio de máxima verosimilitud, el valor de  $p$  es el que haga máxima la expresión  $f_r$ , en donde  $r$  y  $m$  tienen valores fijos y conocidos. Esto implica que debe buscarse  $p$  de manera que haga

$$\max_p p^r (1-p)^{m-r}$$

Esto último equivale, como bien se sabe, a que haga

$$\max_p \ln \left[ p^r (1-p)^{m-r} \right]$$

o sea

$$\max_p \left[ r \ln p + (m-r) \ln (1-p) \right] = \max_p S(p)$$

Para esto es necesario que  $dS(p)/dp = 0$ , o sea, que:

$$\frac{r}{p} - \frac{m-r}{1-p} = 0$$

$$r(1-p) = p(m-r)$$

es decir que

$$p = r/m \quad (1.01)$$

Puede demostrarse que este estimador, dado por la fórmula (1.01) es un estimador centrado (no sesgado) y eficiente, aunque no es usual que aparezca en los textos corrientes de Estadística.

2. Este artículo se refiere al problema análogo, siguiente, que se refiere a dos universos: Una carac-

terística  $E$  puede presentarse (o estar ausente) en los miembros de un universo  $U_1$  y de un universo  $U_2$  distinto al primero. De  $U_1$  se extrae una muestra aleatoria simple de  $m_1$  elementos donde  $E$  aparece en  $r_1$  de ellos. Y de  $U_2$  se extraen aleatoria y simplemente  $m_2$  elementos, hallando que  $E$  está presente en  $r_2$  de ellos. El problema es el de inferir cómo se comparan las probabilidades a priori,  $p_1$ ,  $p_2$ , de  $E$  en los dos universos respectivos  $U_1$ ,  $U_2$ .

Este es el caso de un universo  $U_1$  formado por todos los pacientes humanos de cierta dolencia con una droga  $D_1$  y de un universo  $U_2$  de todos los pacientes que pueden tratarse con otra droga  $D_2$ . De los primeros se hace una prueba sobre  $m_1$  pacientes, de los cuales  $r_1$  sanan; y de los segundos se hace una prueba sobre  $m_2$  pacientes, de los cuales  $r_2$  responden a la segunda droga. El problema es comparar las probabilidades a priori  $p_1$ ,  $p_2$  de que las dos drogas respectivas  $D_1$ ,  $D_2$  sean efectivas en el conjunto de todos los afectados por la dolencia en cuestión.

3. Para responder al problema que hemos planteado en el párrafo anterior, consideramos las variables aleatorias  $X_1 = r_1/m_1$ ,  $X_2 = r_2/m_2$  que representan las proporciones en que la característica  $E$  se presenta en las dos muestras que se comparan, tomadas de los dos universos respectivos. Compararemos las dos variables  $X_1$ ,  $X_2$  estudiando su diferencia  $X_1 - X_2 = L$  como variable aleatoria.

La probabilidad de que la variable  $X_1$  valga  $u$  (siendo  $u$  uno de los números  $0, 1/m_1, 2/m_1, \dots, (m_1-1)/m_1, 1$ ) la indicamos como  $h_1(u)$ . Es igual a la probabilidad expresada por la fórmula (0.01) poniendo  $r = r_1$ ,  $m = m_1$ .

A su vez, la variable  $X_2$  puede tener los valores  $0, 1/m_2, 2/m_2, \dots, (m_2-1)/m_2, 1$ ; y la probabilidad de que adopte uno de esos valores (que indicaremos genéricamente como  $v$ ) es  $h_2(v)$ . Dicha probabilidad coincide con la que da la fórmula (0.01) poniendo  $r = r_2$ ,  $m = m_2$ .

Es decir

$$h_1(u) = Pbbdd \cdot (X_1 = r_1/m_1 = u) = fr_1 = f_{(u, m_1)}$$

$$h_2(v) = Pbbdd \cdot (X_2 = r_2/m_2 = v) = fr_2 = f_{(v, m_2)}$$

Es fácil demostrar (aunque casi ningún texto usual de Estadística o de Probabilidades lo hace), que la probabilidad de que, con esta notación, la variable  $L$  adopte el valor  $L = k$ , está dada por la expresión

$$g(k) = \sum_u h_1(u) h_2(u-k) \quad (3.01)$$

en donde  $u$  recorre todos sus valores  $0, 1/m_1, \dots, (m_1-1)/m_1, 1$ . Por esta razón, el factor  $h_2(u-k)$

sólo adquiere valores no nulos en aquellos valores de  $u$  tales que  $u-k$  adopta alguno de los valores  $0, 1/m_2, 2/m_2, \dots, 1$ .

Escribiéndolo en forma explícita, se tiene la siguiente expresión (3.02):

$$g(k) = \sum_u \binom{m_1}{m_1 u} p_1^{m_1 u} \cdot (1-p_1)^{m_1(1-u)} \binom{m_2}{m_2(u-k)} p_2^{m_2(u-k)} \cdot (1-p_2)^{m_2(1-u-k)} \quad (3.02)$$

donde  $u$  asume la sucesión de valores  $0, 1/m_1, \dots, (m_1-1)/m_1, 1$ , al paso que  $u-k$  adopta los valores  $0, 1/m_2, 2/m_2, \dots, (m_2-1)/m_2, 1$ .

4. Una situación interesante es el caso en que, como resultado de un experimento aleatorio, resulten  $r_1$ ,  $r_2$  de tales valores que  $r_1/m_1 = r_2/m_2$ . Este es precisamente el caso en que  $L = r_1/m_1 - r_2/m_2 = 0$ , o sea, en que  $k = 0$ . También sucede que  $L = 0$  cuando  $r_1$  y  $r_2$  adoptan ambos el valor cero.

La probabilidad *ex-ante* de que esto resulte así vale, según la expresión (3.02), lo siguiente:

$$g(0) = \sum_u \binom{m_1}{m_1 u} p_1^{m_1 u} \cdot (1-p_1)^{m_1(1-u)} \cdot \binom{m_2}{m_2 u} p_2^{m_2 u} \cdot (1-p_2)^{m_2(1-u)} \quad (4.01)$$

El criterio de máxima verosimilitud expresa que, si no se conocen previamente los valores de  $p_1$ ,  $p_2$  pero sí los de  $m_1$ ,  $m_2$ , la mejor inferencia respecto a las dos probabilidades *a priori* es la que haga

$$\max_{p_1, p_2} g(0)$$

Como bien se sabe, para ello es necesario que se cumplan simultáneamente las dos condiciones:

$$\partial g(0) / \partial p_1 = 0 \quad (4.02)$$

$$\partial g(0) / \partial p_2 = 0 \quad (4.03)$$

Tomando la derivada parcial de (4.01) respecto a  $p_1$ , y escribiendo, para más comodidad,  $m_1 u = r_1$  y  $m_2 = a m_1$ , la ecuación (4.02) se convierte en

$$\sum \binom{m_1}{r_1} \binom{m_1 a}{r_1 a} p_2^{r_1 a} \cdot (1-p_2)^{(m_1-r_1)a}.$$

$$\partial g(k) / \partial p_1 = 0$$

$$\partial g(k) / \partial p_2 = 0$$

$$\left[ \begin{array}{c} r_1-1 \\ r_1 p_1 \end{array} \cdot (1-p_1)^{m_1-r_1} \frac{r_1}{-p_1} (m_1-r_1) \cdot \right. \\ \left. (1-p_1)^{m_1-r_1-1} \right] = 0 \quad (4.04)$$

De la misma manera la ecuación (4.03) conduce a la ecuación

$$\sum_{r_1} \binom{m_1}{r_1} \binom{m_1 a}{r_1 a} p_1^{r_1} \cdot (1-p_1)^{m_1 r_1} \cdot \\ \left[ \begin{array}{c} r_1 a-1 \\ r_1 a p_2 \end{array} \cdot (1-p_2)^{(m_1-r_1)a} \frac{r_1 a}{-p_2} \right. \\ \left. (m_1-r_1)a (1-p_2)^{(m_1-r_1)a-1} \right] = 0$$

Un cálculo algebraico sencillo demuestra que la condición necesaria y suficiente para que estas últimas dos condiciones sean compatibles es que se tenga

$$r_1/p_1 - (m_1-r_1)/(1-p_1) = \\ r_1/p_2 - (m_1-r_1)/(1-p_2)$$

para todos los valores de  $r_1$ . Esto significa necesariamente, que

$$p_1 = p_2$$

Es decir, que si hemos obtenido  $r_1/m_1 = r_2/m_2$  (o sea  $k = 0$ ), mejor inferencia es que las probabilidades *a priori* son iguales.

En el caso de las dos drogas  $D_1, D_2$ , si hemos tratado  $m_1$  pacientes (tomados al azar) con la primera droga, y se han aliviado  $r_1$  de ellos; y si, habiendo tratado  $m_2$  pacientes con la segunda, se han aliviado  $r_2$  de ellos, siendo  $r_2/m_2 = r_1/m_1$ , puede inferirse por el criterio de máxima verosimilitud que las dos drogas tienen una misma eficiencia curativa para todos los pacientes ( $p_1 = p_2$ ) en general. Por lo demás, este es un resultado intuitivamente muy verosímil.

5. En cambio, si la droga  $D_1$  alivia a  $r_1$  pacientes entre  $m_1$ , al paso que la droga  $D_2$  alivia  $r_2$  pacientes entre  $m_2$ ; y si designamos con  $k$  a la diferencia  $r_1/m_1 - r_2/m_2 = k$ , la mejor inferencia respecto a  $p_1, p_2$  es la que haga

de manera simultánea. Escribiendo  $g(k)$  en la forma

$$g(k) = \sum_{r_1} \binom{m_1}{r_1} p_1^{r_1} \cdot (1-p_1)^{m_1-r_1} \binom{m_1 a}{r_1 a - k m_2} \\ p_2^{r_1 a - k m_2} \cdot (1-p_2)^{(m_1-r_1)a + k m_2}$$

Tomando las dos derivadas parciales respecto a  $p_1, p_2$  y haciendo las operaciones algebraicas correspondientes, se encuentra que las condiciones de compatibilidad de las ecuaciones es que para todos los valores de  $r$ , se tenga

$$m_1 p_1 - r_1 = 0 \quad (4.06A)$$

y que

$$m_2 p_2 - r_1 a - k m_2 = 0 \quad \text{con } a = m_2/m_1 \quad (4.06B)$$

cuya solución simultánea única es

$$p_2 = p_1 - k. \quad (4.07)$$

Podemos pues inferir que si  $r_1/m_1 - r_2/m_2 = k$ , los poderes curativos de las dos drogas guardan la misma diferencia

$$p_1 - p_2 = k.$$

6. Pero, además de los anteriores resultados, interesa calcular la distribución  $g(k)$  de probabilidades de la variable  $L = X_1 - X_2$ , dada más arriba por las expresiones (3.01) y (3.02).

En primer lugar interesa identificar los valores que pueda adoptar la variable  $k = r_1/m_1 - r_2/m_2$ . Es evidente que el máximo posible de  $k$  se presenta cuando  $r_1$  adopta el valor  $r_1 = m_1$ , y cuando  $r_2$  toma el valor  $r_2 = 0$ , que es el mínimo posible. En tal caso  $\max k = 1$ . Así mismo, el mínimo valor de  $k$  se presenta cuando  $r_1 = 0$  y  $r_2 = m_2$ , en cuyo caso se tiene  $\min k = -1$ .

Todos los valores de  $k$  se forman haciendo la diferencia  $r_1/m_1 - r_2/m_2$ , poniendo  $r_1 = 0, 1, 2, \dots, m_1$  y  $r_2 = 0, 1, 2, \dots, m_2$ . Examinemos pues, la diferencia de quebrados

$$\frac{r_1}{m_1} - \frac{r_2}{m_2}$$

En la Aritmética elemental se muestra que esta diferencia de quebrados se calcula buscando primero el mínimo común múltiplo de los denominadores:

$$M = m.c.m. (m_1, m_2)$$

y sus cuocientes enteros con estos mismos denominadores:

$$P_1 = M/m_1, \quad P_2 = M/m_2$$

Entonces la diferencia de quebrados que se busca, es

$$k = \frac{r_1}{m_1} - \frac{r_2}{m_2} = \frac{r_1 (M/m_1) - r_2 (M/m_2)}{M}$$

$$\frac{r_1 P_1 - r_2 P_2}{M} = \frac{S}{M} \quad (6.01)$$

El numerador  $r_1 P_1 - r_2 P_2 = S$  adopta valores que son todos números enteros. Tales valores resultan al darle a  $r_1$  los valores  $0, 1, 2, \dots, m_1$ , y a  $r_2$  los valores  $r_2 = 0, 1, 2, \dots, m_2$ , y se pueden disponer en una tabla de doble entrada, o matriz rectangular, como los que se muestra en las Tablas 1 y 2. De la fórmula (6.01) resulta que

$$r_1 = m_1 k + (m_1/m_2) r_2$$

es decir que

$$r_1 \geq m_1 k \quad (6.02A)$$

o bien que

$$r_1 \geq m_1 S/M \quad (6.02B)$$

TABLA 1

Valores del numerador  $S = r_1 P_1 - r_2 P_2$  con  $m_1 = 12, m_2 = 10$

$r_2$	$r_1 : 0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1	-6	-1	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54
2	-12	-7	-2	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48
3	-18	-13	-8	-3	2	7	12	17	22	27	32	37	42
4	-24	-19	-14	-9	-4	1	6	11	16	21	26	31	36
5	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
6	-36	-31	-26	-21	-16	-11	-6	-1	4	9	14	19	24
7	-42	-37	-32	-27	-22	-17	-12	-7	-2	3	8	13	18
8	-48	-43	-38	-33	-28	-23	-18	-13	-8	-3	2	7	12
9	-54	-49	-44	-39	-34	-29	-24	-19	-14	-9	-4	1	6
10	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0

TABLA 2

Valores del numerador  $S = r_1 P_1 - r_2 P_2$  con  $m_1 = 8, m_2 = 6$

$r_2$	$r_1 : 0$	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	3	6	9	12	15	18	21	24
1	-4	-1	2	5	8	11	14	17	20
2	-8	-5	-2	1	4	7	10	13	16
3	-12	-9	-6	-3	0	3	6	9	12
4	-16	-13	-10	-7	-4	-1	2	5	8
5	-20	-17	-14	-11	-8	-5	-2	1	4
6	-24	-21	-18	-15	-12	-9	-6	-3	0

7. En la Tabla 1 está tratado el caso de la diferencia  $r_1 P_1 - r_2 P_2$  cuando  $r_1$  va desde cero hasta  $m_1 = 12$  y  $r_2$  va desde cero hasta  $m_2 = 10$ . En esas condiciones, se tiene

$$M = m.c.m. (10, 12) = m.c.m. (5 \times 2, 2 \times 2 \times 3) = 5 \times 4 \times 3 = 60$$

$$P_1 = M/m_1 = 60 \div 12 = 5$$

$$P_2 = M/m_2 = 60 \div 10 = 6$$

$$S = r_1 P_1 - r_2 P_2 = 5 r_1 - 6 r_2$$

El número de entradas o casillas de esta tabla es, por supuesto,  $(m_1 + 1) \times (m_2 + 1) = 13 \times 11 = 143$

pero en ella solamente hay 101 valores numéricos distintos, como puede comprobarse contándolos directamente en la tabla. Nótese que en esta situación, el mínimo común múltiplo  $M$  se puede expresar como

$$M = 60 = 5 \times 6 + 6 \times 5 = AP_1 + BP_2$$

siendo

$$A = 5, \quad B = 6$$

y que el número  $N$  de valores numéricos en la tabla es

$$N = 3AB + A + B = 3 \times 5 \times 6 + 5 + 6 = 101 \quad (7.01)$$

8. En la Tabla 2 se presentan los valores del numerador  $S = r_1 P_1 - r_2 P_2$  cuando  $m_1 = 8$  y  $m_2 = 6$ . En este caso el mínimo común múltiplo  $M$  es

$$M = m.c.m. (8, 6) = m.c.m. (2^3, 2 \times 3) = 2^2 \times 3 = 24$$

y sus cuocientes con  $m_1, m_2$ , son

$$P_1 = M/m_1 = 24/8 = 3$$

$$P_2 = M/m_2 = 24/6 = 4$$

Aquí también se tiene la situación de que

$$M = 24 = 4 \times P_1 + 3 \times P_2 = 4 \times 3 + 3 \times 4 = 24$$

de modo que

$$M = AP_1 + BP_2$$

$$A = 4, \quad B = 3$$

El número de valores distintos en esta Tabla 2 es de  $N = 43$  como se obtiene enumerándolos y contándolos directamente. Pero también aquí comprobamos que

$$N = 43 = 3AB + A + B = 3 \times 4 \times 3 + 4 + 3 = 43 \quad (8.01)$$

9. En la Tabla 3 se presenta el caso en que  $m_1 = 5, m_2 = 4$ , que son números primos entre sí. En estas condiciones

$$M = m.c.m. (m_1, m_2) =$$

$$m.c.m. (5, 4) = 5 \times 4 = m_1 \times m_2 = 20$$

$$P_1 = M/m_1 = 20/5 = 4 = m_2$$

$$P_2 = M/m_2 = 20/4 = 5 = m_1$$

En tales condiciones *no* existen números naturales  $A, B$  que permitan escribir  $M = AP_1 + BP_2$ . El número de valores numéricos distintos que aparecen en la tabla es, más bien,

$$N = 29 = m_1 m_2 + m_1 + m_2 = 5 \times 4 + 5 + 4 = 29 \quad (9.01)$$

número que puede comprobarse por enumeración en la propia Tabla 3.

TABLA 3

Valores del numerador  $S = r_1 P_1 - r_2 P_2$  con  $m_1 = 5, m_2 = 4$

$r_2$	$r_1: 0$	1	2	3	4	5
0	0	4	8	12	16	20
1	-5	-1	3	7	11	15
2	-10	-6	-2	2	6	10
3	-15	-11	-7	-3	1	5
4	-20	-16	-12	-8	-4	0

10. En la Tabla 4 se muestra el caso en que  $m_1 = 3, m_2 = 6$ , que es el caso en que uno de estos números es múltiplo del otro y cuando

$$M = m.c.m. (m_1, m_2) = \max (m_1, m_2) = m^*$$

$$M = m.c.m. (3, 6) = 6$$

$$P_1 = M/m_1 = 6/3 = 2$$

$$P_2 = M/m_2 = 6/6 = 1$$

En este caso sí existen números naturales  $A, B$  tales que

$$M = AP_1 + BP_2$$

porque, con  $A = 2$  y  $B = 2$  se obtiene

$$M = 6 = 2P_1 + 2P_2 = 2 \times 2 + 2 \times 1 = 6$$

TABLA 4

Valores del numerador  $S = r_1 P_1 - r_2 P_2$  con  $m_1 = 3, m_2 = 6$

$r_2$	$r_1: 0$	1	2	3
0	0	2	4	6
1	-1	1	3	5
2	-2	0	2	4
3	-3	-1	1	3
4	-4	-2	0	2
5	-5	-3	-1	1
6	-6	-4	-2	0

Pero el número de valores distintos en la tabla es  $N = 13$  como se puede contar sobre ella misma. De manera que en este caso  $N$  es distinto de  $3AB + A + B$ , a diferencia de lo que se tenía en (7.01) y en (8.01). En realidad, en estas condiciones el número de valores diferentes que adopta  $S$  es

$$N = 2 \cdot \max(m_1, m_2) + 1 = 2 \times 6 + 1 = 13 \quad (10.01)$$

11. Los anteriores ejemplos sugieren unas reglas de formación para calcular el número  $N$  de los valores  $k$  que puede adoptar la diferencia algebraica  $L = X_1 - X_2$ . Porque cada valor de  $k$  corresponde biunívocamente a cada valor distinto de  $S = k \cdot M = r_1 P_1 - r_2 P_2$ . Aquí enunciaremos, sin demostrarlas, algunas de estas reglas (que pueden enunciarse como "teoremas" si se prefiere):

a.- Si  $m_1$  y  $m_2$  son iguales ( $m_1 = m_2 = m$ ), el número  $N$  de valores numéricos que adopta  $S$  (o bien  $k$ ) es

$$N = 2m + 1$$

b.- Si  $m_1, m_2$  son primos entre sí (o sea, carecen de factores primos comunes que sean distintos de uno (1), como ocurre en la Tabla 3), el número  $N$  de valores numéricos diferentes que toma el numerador  $S$  de las fracciones  $k = S/M$  es decir, el número de valores diferentes que toma  $k$ , es

$$N = m_1 m_2 + m_1 + m_2 \quad (11.02)$$

La fórmula (9.01) es un ejemplo de esta situación.

c.- Si  $m_1, m_2$  son múltiplos el uno del otro (y por lo tanto *no* son primos entre sí), como en la Tabla 4, el número  $N$  de valores numéricos diferentes que toma  $S$  es

$$N = 2 \cdot \max(m_1, m_2) + 1 = 2m^* + 1 \quad (11.03)$$

Un ejemplo de esta situación lo da la fórmula (10.01)

d.- Si  $m_1, m_2$  *no* son primos entre sí (tienen factores comunes distintos de uno), ni uno es múltiplo del otro, pero existen dos números naturales *positivos*  $A$  (menor que  $m_1$ ) y  $B$  (menor que  $m_2$ ) tales que

$$M = m.c.m.(m_1, m_2) = A(M/m_1) + B(M/m_2)$$

o sea que satisfacen la condición

$$A/m_1 + B/m_2 = 1$$

entonces el número  $N$  de valores de  $S$  (o también de valores de  $L$ ), es

$$N = 3AB + A + B$$

Este es el caso presentado en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

e.- Otras situaciones entre  $m_1, m_2$  se dejan para la curiosidad del lector que se interese en Aritmética.

12. Para no fatigar al lector no daremos aquí las demostraciones explícitas de todas las fórmulas consignadas en el párrafo anterior. Pero daremos la demostración de la fórmula (11.04) correspondiente al caso (d), por ser una de las más interesantes.

Para fijar ideas, nos remitimos a la Tabla 2. En primer lugar, obsérvese que en el centro geométrico de la tabla está el número cero. En la casilla  $r_1 = 4, r_2 = 0$  está el número 12 que es  $3 \times 4$  o sea  $B P_2$ . El mismo número 12 está en la casilla  $r_1 = 8, r_2 = 3$ . En los dos extremos de la diagonal principal está el número cero. Y en los dos extremos de la otra diagonal (o diagonal transversal) está el número  $24 = M$ . Esta configuración de números en la tabla es lo que refleja en ella la relación aritmética

$$M = A P_1 + B P_2$$

A la derecha de la columna mediana de  $r_1 = 4$ , hay 4 columnas (en general,  $A$  columnas), y a su izquierda hay otras  $A$  columnas. Encima de la línea horizontal mediana de  $r_2 = 3$  hay 3 columnas (en general,  $B$  columnas), y debajo de esa línea hay otras  $B$  columnas.

Así pues, la tabla puede descomponerse en los siguientes fragmentos, que no contienen números comunes entre sí

a) La submatriz de la parte superior derecha

15	18	21	24
11	14	17	20
7	10	13	16

que contiene  $12 = 4 \times 3$  elementos. En general,  $AB$  elementos.

b) La submatriz de la parte inferior izquierda, con números todos negativos, simétrica de la anterior, que contiene también  $AB$  elementos.

c) El número cero, que aparece en tres casillas. Es otro elemento más, distinto de los anteriores.

d) Los números en la fila mediana ( $r_2 = 3$ ), a la izquierda de la columna mediana ( $r_1 = 4$ ), que son

-12	-9	6	3
-----	----	---	---

cuyo número es 4 (en general, son  $A$  números).

e) Los números

-4
-8

de la primera columna ( $r_1 = 0$ ) encima de la fila mediana  $r_2 = 3$ , y omitiendo el cero (que está en  $r_1 = 0, r_2 = 0$ ) el cual ya se ha enumerado. Son pues, otros dos números (en general,  $B - 1$  números).

f) Los números

$$\begin{array}{ccc} -1 & 2 & 5 \\ -5 & -2 & 1 \end{array}$$

que forman una submatriz en la parte superior izquierda de la tabla, cuyo número es  $6 = 3 \times 2$  (en general,  $(A - 1) \times (B - 1)$  números).

g) Los números

$$\begin{array}{cccc} 3 & 6 & 9 & 12 \end{array}$$

que aparecen en la primera fila, desde  $r_1 = 1$  hasta  $r_1 = 4$ .

Son cuatro números (en general, son  $A$  números).

h) Los números

$$\begin{array}{c} 8 \\ 4 \end{array}$$

que aparecen en la mitad superior de la columna mediana ( $r_1 = 4$ ), omitiendo el cero (0) y el doce (12) que ya están enumerados. Son dos números (en general, son  $B - 1$  números).

i) Todas las demás casillas de la tabla contienen números que ya están incluidos en alguno de los fragmentos anteriormente descritos.

En consecuencia, el número de valores distintos que contiene la tabla, es, sumando los cardinales indicados atrás,

$$N = 2AB + 1 + A + (B-1) + (A-1)(B-1) + A + (B-1) = 3AB + A + B$$

que es lo que se trataba de demostrar.

Las otras fórmulas, (11.01), (11.02) y (11.03) son más sencillas de demostrar.

13. Volviendo a la distribución de probabilidades de  $L$ , dada por

$$g(k) = \sum_u h_1(u) h_2(u-k)$$

esta distribución se refiere a los  $N$  valores diferentes que puede adoptar el número  $k = S/M$ , donde  $M = m.c.m.(m_1, m_2)$  y  $S = r_1(M/m_1) - r_2(M/m_2)$  permitiendo a  $r_1$  recorrer la sucesión  $1, 2, \dots, m_1$  y permitiendo a  $r_2$  que recorra la sucesión  $1, 2, \dots, m_2$ . De todas maneras, los valores de  $k$  pertenecen a la sucesión  $-1, (-M + 1)/M, (-M + 2)/M, \dots, -1/M, 0, +1/M, 2/M, \dots, (M-2)/M, (M-1)/M, 1$ , e incluye necesariamente a  $k = -1$ , a  $k = 0$  y a  $k = +1$ .

14. Con lo observado hasta aquí, podemos construir el siguiente algoritmo para calcular la distribución de probabilidades de la diferencia  $X_1 - X_2 = L$ ; donde  $X_1 = r_1/m_1$  y  $X_2 = r_2/m_2$ ; donde  $r_1$  tiene distribución binomial desde 0 hasta  $m_1$ , con probabilidad *a priori*  $p_1$ ; y donde  $r_2$  es también binomial, desde cero hasta  $m_2$ , con probabilidad *a priori*  $p_2$ .

a) Anotar  $m_1, m_2, p_1, p_2$

b) Calcular  $M = m.c.m.(m_1, m_2)$

c) Calcular:  $P_1 = M/m_1$  y  $P_2 = M/m_2$

d) ¿Es  $m_1 = m_2$ ?

d.1.- Sí. Ponga  $m = m_1 = m_2$ . Calcule  $N = 2m + 1$

d.2.- No. ¿Son  $m_1, m_2$  primos entre sí?

d.2.A.- Sí. Calcule  $N = m_1 m_2 + m_1 + m_2$

d.2.A.- No. ¿Son  $m_1, m_2$  múltiplos el uno del otro?

d.2.A.I. Sí. Calcule  $m^* = \max(m_1, m_2)$  y calcule  $N = 2m^* + 1$

d.2.A.II. No. ¿Hay dos números positivos  $A = m_1$  y  $B = m_2$  tales que  $M = AP_1 + BP_2$ ?

d.2.A.II.1.- Sí. Calcule  $N = 3AB + A + B$

d.2.A.II.2.- No. Siga al paso (e)

e) Forme la tabla  $T$  de las  $(m_1 + 1) \times (m_2 + 1)$  diferencias

$$r_1/m_1 - r_2/m_2$$

f) Cuente el número  $N$  de valores numéricos distintos que forman esta tabla. Si es del caso, confróntelo con el que ya se haya calculado en el paso (d), en la parte pertinente.

Cerciórese de que  $N \leq 2M + 1$ .

g) Anote  $k = -1$  como primer valor para  $k$ . Le corresponde el valor  $S = -M$ , que está colocado en el extremo inferior izquierdo de la tabla  $T$ , donde  $r_1 = 0$  y  $r_2 = m_2$ .

h) Calcule  $S = kM$ . Escriba  $k$  como  $k = S/M$ .

i) Calcule el valor correspondiente de la expresión  $S m_1 / M = k m_1 = R_1$ .

j) En la tabla  $T$  inspeccione las columnas que tienen valores de  $r_1$  enteros y que sean iguales o mayores que  $R_1$  ( $r_1 \geq R_1$ ) leyéndolos en orden creciente, de derecha a izquierda. Identifique y enumere ordenadamente aquellas donde aparezca la  $S$  que calculamos en el paso (h). Note que puede no haber columnas que contengan  $S$ . En tal caso, pase al paso (ñ).

k) En cada una de las columnas así señaladas, encabezadas por los valores indicados de  $r_1$ , anote el valor de  $r_2$  de la fila donde aparezca el valor de  $S$  ya calculado. Dicho valor de  $r_2$  es único para cada  $r_1$ , y puede también calcularse por la fórmula.

$$r_2 = (r_1 P_1 - kM)/P_2$$

l) Anote todas las parejas  $(r_1, r_2)$  así formadas, que corresponden a cada valor de  $R_1$  (es decir, al valor de  $k$  prescrito en (g) y en (h) ya calculado en el paso (i)).

m) Formar para cada una de estas parejas el producto

$$\binom{m_1}{r_1} p_1^{r_1} (1-p_1)^{m_1-r_1} \cdot \binom{m_2}{r_2} p_2^{r_2} (1-p_2)^{m_2-r_2}$$

n) Sumar estos productos para el conjunto de las parejas obtenidas en el paso (l), que corresponden a un mismo valor de  $k$  (o, si se quiere, a un mismo valor de  $S$ ). Esta suma es el valor de  $g(k)$ . Anótelos.

ñ) Pase a  $k' = k + 1/M$ . Esto significa que  $S$  pasa a  $S' = S + 1$ .

o) Repita todos los pasos desde (h) hasta (n), para  $k'$ . Así obtiene

$$g(k')$$

p) Repita la operación (ñ) (y las sucesivas de (h) a (n), que le corresponden) hasta llegar a  $k = +1$ , o sea a  $S = +M$ .

q) Calcule  $g(k)$

r) Haga el listado de  $g(-1), \dots, g(0), \dots, g(+1)$  ya encontrados.

s) Pare.

De esa manera se ha examinado toda la secuencia de  $2M + 1$  números  $-1, (-M+1)/M, \dots, -2/M, -1/M, 0, +1/M, 2/M, \dots, (M-1)/M, +1$  y se han identificado aquellos  $N$  números de la secuencia anterior que son valores de  $k = r_1/m_1 - r_2/m_2$ . Además, se han calculado y listado los  $N$  valores de la distribución de probabilidad  $g(k)$ .

15. El algoritmo que dejamos escrito nos permite calcular los valores numéricos de la distribución de probabilidades  $g(k)$ . Además, dándole a  $k$  los  $N$  valores numéricos  $k_1, k_2, \dots, k_N$  que se le han identificado, también puede calcularse numéricamente el valor medio (o esperanza) de  $k$ , realizando las operaciones implícitas en la fórmula bien conocida.

$$E[k] = \bar{k} = \sum_{i=1}^N k_i \cdot g(k_i) \quad (15.01)$$

Dado que  $k = r_1/m_1 - r_2/m_2$ , y recordando

un teorema bien conocido en Estadística, deberá resultar que, además,  $\bar{k}$  resulta igual a

$$\bar{k} = p_1 - p_2 \quad (15.02)$$

Porque

$$\bar{r}_1 = m_1 p_1, \quad \bar{r}_2 = m_2 p_2$$

Podemos también calcular la varianza de  $k$  mediante fórmula conocida

$$V[k] = \sum_i g(k_i) \cdot (k_i - \bar{k})^2 \quad (15.03)$$

Una identidad bien conocida en Estadística, y válida en nuestro caso, permite escribir

$$V[k] = V[r_1/m_1 - r_2/m_2] = (1/m_1^2) V[r_1] + (1/m_2^2) V[r_2] =$$

$$(1/m_1^2) m_1 p_1 (1-p_1) + (1/m_2^2) m_2 p_2 (1-p_2) = p_1 (1-p_1)/m_1 + p_2 (1-p_2)/m_2 \quad (15.04)$$

Este resultado (15.04) debe coincidir con el resultado numérico (15.03).

16. Por último, señalaremos una forma de escribir la distribución  $g(k)$  que también puede usarse en otros casos en que se manejan variables aleatorias binomialmente distribuidas.

Comenzamos por observar que la expresión (3.02) puede también escribirse como

$$g(k) = \sum_{r_1, r_2} \binom{m_1}{r_1} p_1^{r_1} (1-p_1)^{m_1-r_1} \binom{m_2}{r_2} p_2^{r_2} (1-p_2)^{m_2-r_2} \quad (16.01)$$

en donde  $r_1, r_2$  son, para cada valor de  $k$ , las parejas identificadas en el paso (1) del algoritmo descrito en el párrafo 14, y entre las cuales se cumple la condición

$$r_1/m_1 - r_2/m_2 - k = 0$$

siendo  $r_1 = 0, 1, 2, \dots, m_1$  y  $r_2 = 0, 1, 2, \dots, m_2$ . Además  $k$  adopta luego los valores  $k_1, k_2, \dots, k_N$

(que forman una sub-sucesión de la sucesión  $k_1 = -1, (-M+1)/M, \dots, 1/M, 0, +1/M, +2/M, \dots, (M-1)/M, +1 = k_N$ ).

Los coeficientes binomiales que aparecen en la fórmula (16.01) se pueden también escribir

$$\binom{m_1}{r_1} = \frac{m_1!}{r_1! (m_1 - r_1)!} = \frac{\Gamma(m_1 + 1)}{\Gamma(r_1 + 1) \cdot \Gamma(m_1 - r_1 + 1)}$$

$$= \frac{m \Gamma(m)}{r \Gamma(r) \cdot (m-r) \Gamma(m-r)} \cdot \frac{m}{r(m-r)} \cdot \frac{\Gamma(m)}{\Gamma(r) \cdot \Gamma(m-r)}$$

$$\frac{m}{r(m-r)} B(r, m-r)$$

donde  $B(r, m)$  es la función llamada "beta" u "euleriana de primera especie".

$$B(r, s) = \int_0^1 x^{r-1} (1-x)^{s-1} dx$$

y que mantiene una identidad muy conocida

$$B(r, s) = \frac{\Gamma(r+s)}{\Gamma(r) \cdot \Gamma(s)}$$

con la función "gama".

$$\Gamma(t) = \int_0^\infty e^{-x} \cdot x^{t-1} \cdot dx$$

llamada "euleriana de segunda especie".

Por lo tanto, la fórmula (16.01) puede escribirse

$$g(k) = \sum_{r_1}^{m_1} \frac{m_1}{r_1 (m_1 - r_1)} B(r_1, m_1 - r_1) \cdot p_1^{r_1} (1-p_1)^{m_1 - r_1} \cdot \frac{m_2}{r_2 (m_2 - r_2)} \cdot B(r_2, m_2 - r_2) p_2^{r_2} (1-p_2)^{m_2 - r_2} \quad (16.02)$$

en donde:

a) cada valor de  $k, r_1$  es la variable que cumple las dos condiciones

$$r_1 \in (0, 1, 2, 3, \dots, m_1)$$

$$r_1 \geq k m_1$$

b) a cada valor de  $k$  y de  $r_1$  le corresponde el valor único  $r_2$  dado por las condiciones

$$r_2 = m_2 (r_1/m_1 - k) \in (0, 1, 2, \dots, m_2)$$

c) la variable  $k$  recorre la sucesión  $k_1, k_2, \dots, k_N$  que se ha formado en las etapas (g) y (ñ) del algoritmo del párrafo 14.

17. Si suponemos que  $p_1 = p_2 = p$ , la expresión (16.02) toma la forma

$$g(k) = \sum_{r_1} \binom{m_1}{r_1} \binom{m_2}{m_2 (r_1/m_1 - k)} \cdot p^{r_1 (1 + m_2/m_1) - m_2 k} (1-p)^{m_1 + m_2 (1+k) - r_1 (1 + m_2/m_1)} \quad (17.01)$$

con las advertencias (a), (b), (c) del párrafo 16. Numéricamente pueden calcularse los  $N$  valores de  $g(k)$  con  $k = -1, k_2, k_3, \dots, k_N = 1$

18. Volviendo al caso concreto de la comparación de las drogas, la distribución  $g(k)$  permite comparar la una contra la otra en aquellos casos en que se conoce la eficacia  $p_1$  de la droga  $D_1$  pero no hay certidumbre sobre la eficacia  $p_2$  de la droga  $D_2$ . En este caso, se siguen los siguientes pasos:

a) Se formula la hipótesis nula  $H_0$  de que  $p_2 = p_1 = p$ .

b) Se construye la tabla  $T$ ; se extraen los  $N$  valores distintos de  $S$  que contiene, y se dividen por  $M$  para obtener los  $N$  valores distintos de  $k = S/M$ .

c) Para cada valor de  $k$  se identifican los valores de  $r_1$  que deben entrar en la sumación de la fórmula (17.01), como en el paso (j) del algoritmo.

d) Se valora la fórmula (17.01) sumando sobre los valores de  $r_1$  correspondientes a cada valor de  $k$ .

e) Se obtiene así la distribución

$$g_i = g(k_i), \quad k_i = k_1, k_2, \dots, k_N$$

que tiene dos colas: en el lado de los valores más bajos de  $k$  ( $k_1, k_2, \dots$ ), y en el lado de los valores más altos de  $k$  ( $\dots, k_{N-2}, k_{N-1}, k_N$ )

f) Se toma una muestra de  $m_1$  pacientes y se tratan con la droga  $D_1$ . Se cuentan los  $r_1$  de ellos en que la droga es eficaz.

g) Se toma una muestra de  $m_2$  pacientes. Se tratan con  $D_2$ . Se cuenta el número  $r_2$  de los que resultan aliviados.

h) Se mide la diferencia  $k$  de  $r_1/m_1 - r_2/m_2 = k$ .

j) Se establece un nivel  $\alpha$  de significación para la prueba. Usualmente se toma 1% ó 5% según que se quiera ser más o menos exigente.

k) Se identifican los primeros valores  $k_1, k_2, \dots$  de la cola izquierda, cuya suma de probabilidades sea más próxima a  $\alpha/2$

$$g_1 + g_2 + \dots + g_{N_1} \cong \alpha / 2$$

l) Se hace lo mismo en el extremo de la cola superior:

$$g_{N_2} + g_{N_2+1} + \dots + g_N \cong \alpha / 2$$

m) Si el valor medido de  $k$  pertenece a la sucesión de la cola izquierda

$$k_1, k_2, \dots, k_{N_1}$$

se rechaza la hipótesis  $H_0$  y se formula una nueva hipótesis nula  $H'_0$  de que  $p_2 > p_1$

n) Si el valor medido de  $k$  pertenece a la sucesión de la cola derecha

$$k_{N_2}, k_{N_3}, \dots, k_N$$

se rechaza la hipótesis  $H_0$  y se formula una nueva hipótesis  $H''_0$  de que  $p_2 < p_1$

o) Si el valor medido de  $k$  cae en el centro de la distribución, es decir en uno de los valores

$$k_{N_1}, k_{N_1+1}, \dots, k_{N_2-2}, k_{N_2-1}$$

no se rechaza la hipótesis  $H_0$  sino que se toman nuevas muestras hasta que sus extensiones reunidas ( $m_1, m_2$ ) hagan que la desviación típica (Ver fórmula 15.04) sea suficientemente pequeña respecto a  $p$ . Por ejemplo, que sea

$$\sqrt{p(1-p) \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} < 0.01 p$$

si es que se usa este criterio de validez para aceptar la hipótesis  $H_0$ .

19. Es evidente que el procedimiento que se ha expuesto aquí sirve no solamente para comparar la eficacia de dos drogas, sino para comparar muchas otras parejas comparables de datos. Ejemplos de tales comparaciones son:

a) Las resistencias mecánicas de dos marcas de barras de metal.

b) Las velocidades de dos corredores.

c) Los contenidos de un cierto mineral en dos yacimientos distintos.

d) Las durabilidades de dos marcas de buriles para metal.

f) Las eficiencias de dos procedimientos de fabricación; y muchas otras.

# ESTUDIOS DE INVASION DEL PARASITO *Plasmodium falciparum* A FANTASMAS DE ERITROCITOS HUMANOS

Por Moisés Wasserman L.\* , Juan A. Crosby G. y  
Gladys Arreaza T.

## RESUMEN

Se estudió la invasión del parásito *Plasmodium falciparum* a fantasmas de eritrocitos humanos. La invasión disminuyó proporcionalmente a la dilución del contenido citoplasmático, hasta un límite del 20%, por debajo del cual no hay invasión. Este comportamiento es paralelo a la capacidad de los fantasmas de mantener una concentración de ATP superior a 10 $\mu$ M. La adición de fosfato, magnesio, y las poliaminas espermina y espermidina no modificó el resultado. La adición de ATP, o de un sistema enzimático regenerador de ATP mejoró la capacidad de las células para ser invadidas por el parásito.

La sustitución del contenido proteico de los fantasmas con citoplasma exógeno, de eritrocitos humanos, causó una restitución de la invasión; mientras que la sustitución con citoplasma proveniente de eritrocitos de pollo sólo restituyó la invasión cuando se aumentó simultáneamente el contenido de ATP. La posible existencia de un factor específico para la invasión, en el citoplasma se descarta; se insinúa la importancia de un sistema enzimático que mantenga un nivel mínimo de ATP.

## INTRODUCCION

La malaria es posiblemente la enfermedad parasitaria que causa el mayor impacto en la salud humana en el trópico. La mitad de la población mundial, cerca de 2.500 millones de personas están permanentemente amenazadas; 300 millones de personas son infectadas por año y de éstas, por lo menos 80 millones sufren la enfermedad (1). Se estima que en Africa, mueren un millón de niños al año por ella (1,2). Entre más de 100 especies de

*Plasmodium*, sólo 4 atacan al hombre *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae* y *Plasmodium ovale*; de éstos, el que causa las infecciones más graves y el más difundido en el mundo es el *Plasmodium falciparum*.

Entre los diferentes ciclos de vida del parásito en sus dos hospederos (mosquito *Anopheles* y hombre), es particularmente interesante el ciclo asexual eritrocítico, que es el causante de las manifestaciones clínicas de la enfermedad. Durante este ciclo, que dura 48 horas, cambia el parásito dentro del eritrocito, de forma joven (anillo) a formas más maduras (trofozoítos) y finalmente se divide (esquizontes) en 16 a 20 parásitos (merozoítos) que se liberan e invaden nuevas células rojas. El mecanismo molecular de esta invasión es poco conocido, a pesar de que existen descripciones ultraestructurales muy precisas (3,4,5). Hay primero un contacto accidental entre merozoítos libres y eritrocitos, seguido de una unión en el punto de contacto. El eritrocito sufre entonces una rápida deformación que dura 9-15 segundos, el parásito se reorienta con su zona apical directamente opuesta a la membrana de la célula roja, y en ese punto se forma un complejo de unión, que se ve muy denso en microscopía electrónica de transmisión, y que se va moviendo a lo largo del parásito a medida que la célula es penetrada, por invaginación, en un proceso que dura 15 segundos. Finalmente la vacuola, sellada por fusión de la membrana, es interiorizada al eritrocito que después de unos minutos adquiere nuevamente estructura de disco bicóncavo.

La anterior descripción, sugiere la presencia de receptores específicos en las membranas de las dos células involucradas, pero también parece evidente la necesidad de componentes intracelulares que

\* Académico Correspondiente. Profesor de Bioquímica - Universidad Nacional. Jefe, Grupo de Bioquímica - Instituto Nacional de Salud.

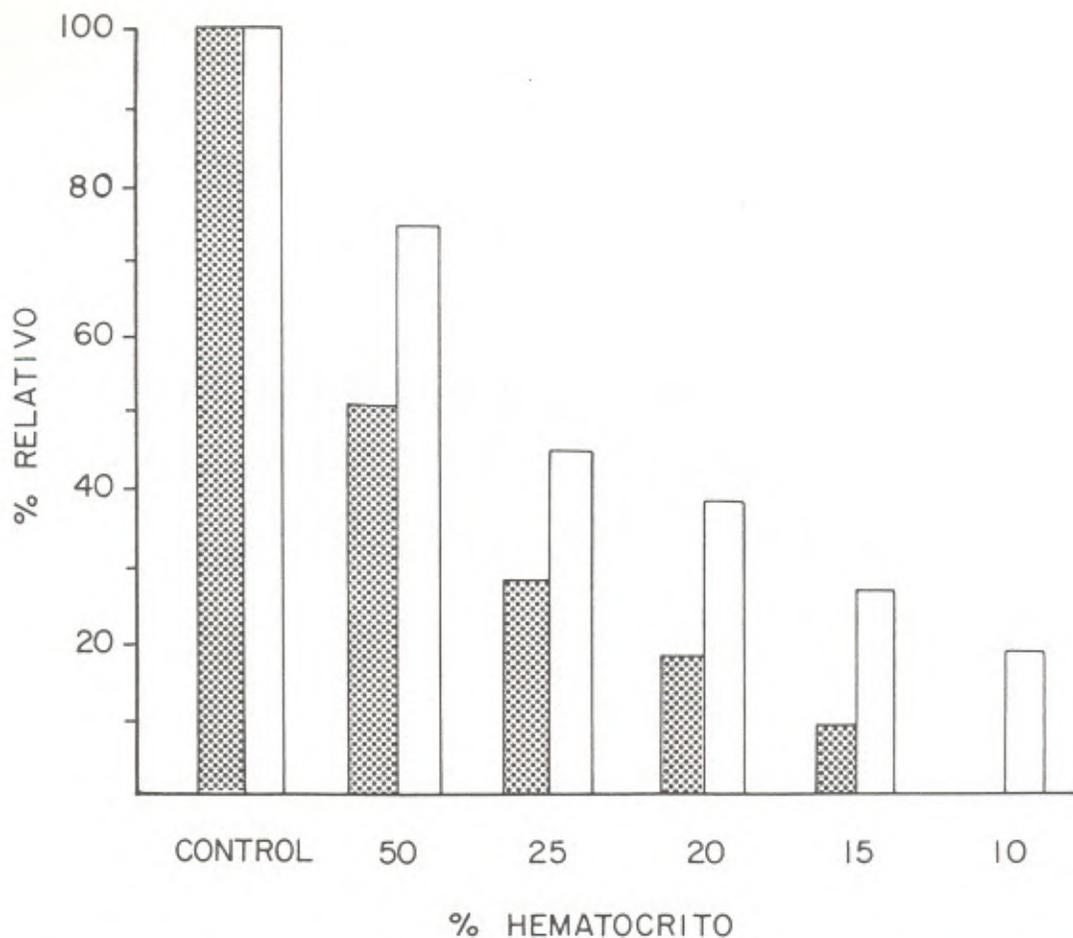


FIGURA 1. Efecto de la dilución del contenido del eritrocito sobre la invasión de fantasmas por *Plasmodium falciparum*. (▨) Invasión; (□) Contenido de proteína.

mediante un proceso de endocitosis muy raro en el eritrocito.

Varios grupos han tratado de identificar el receptor; se ha sugerido que la glicoforina A es el receptor del merozoíto (6,8). Sin embargo, hay autores que presentan evidencias de que también la glicoforina B (9,10) y la glicoforina C (11) están involucradas en el proceso, pues compiten con la invasión, y porque células rojas genéticamente deficientes en ellas tienen grados diversos de resistencia a la invasión. Un grupo afirma que el receptor es la banda 3 del eritrocito (12,13) basado en la inhibición a la invasión causada por esta proteína insertada en liposomas. En contraste con la gran cantidad de trabajo que se ha hecho para caracterizar los receptores, es muy poco lo que se sabe acerca de los procesos intracelulares durante la invasión. Esto se debe seguramente a las dificultades físicas que presenta el problema de analizar factores intracelulares en un proceso que no puede ser reconstruido en ausencia de las células completas. Una solución posible a estas dificultades es el uso de fantasmas de eritrocito, que son membranas que conservan el tamaño, forma y características de la célula original (14), pero cuyo contenido interno puede ser modificado, incluyendo en ellas moléculas pequeñas y macromoléculas (15).

Este trabajo, pretendió hacer uso de fantasmas resellados de eritrocitos, para evaluar el papel de

algunos componentes intracelulares de la célula hospedera en la invasión del merozoíto de *Plasmodium falciparum*.

## MATERIALES Y METODOS

### Cultivo del parásito

Se usó la cepa colombiana FCB-2 de *Plasmodium falciparum* (16), mantenida en cultivo continuo según el método de Trager & Jensen (17), en una suspensión de eritrocitos humanos O(+) al 5% (v/v) en medio RPMI-1640 (GIBCO Grand Island, N. Y.) suplementado con 10% de suero humano de donante O(+), hipoxantina 0,2mM, glutatión reducido 1ug/ml, buffer HEPES (Ácido N-2-Hidroxi-etil-piperazina-N'-2-etanosulfónico) 25mM, bicarbonato de sodio 32mM, y gentamicina 50ug/ml. El cultivo se mantuvo a 37°C en cámaras de incubación herméticas con una atmósfera de CO<sub>2</sub> 5%, O<sub>2</sub> 5% y N<sub>2</sub> 90%. El medio se cambió diariamente y se hizo dilución con eritrocitos frescos cada cuatro días. La parasitemia en el cultivo y en los experimentos se evaluó por conteo de parásitos, en extendidos coloreados con Giemsa y se expresó como porcentaje.

### Sincronización del cultivo

El cultivo se sincronizó de acuerdo al método descrito por Lambros y Vanderberg (18). Después

de un lavado (750xg, 5 minutos) en una solución de NaCl 160mM, HEPES 20mM pH 7.4 (BHS), se incubaron las células a 37°C durante 5 minutos en una solución de sorbitol al 5%. Los eritrocitos se recuperaron por centrifugación, se lavaron con BHS y se resuspendieron en medio de cultivo.

#### Separación y concentración de esquizontes

La separación y concentración de esquizontes se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Rivadeneira, Wasserman y Espinal (19). El cultivo con un porcentaje de esquizontes entre uno y dos se centrifugó a 750xg durante 5 minutos para separar las células. A un volumen de células se adicionaron 3 volúmenes de BHS. Un mililitro de esta suspensión se adicionó a una mezcla de 9.9ml Percoll (Pharmacia Fine Chemicals, Uppsala-Sweden) y 1.1 ml de BHS concentrado x 10 (HEPES 200mM, NaCl 1.6M pH 7.4) y se centrifugó a 26.000 xg a 4°C durante 30 minutos. La fracción superior del gradiente que contenía los esquizontes se lavó con BHS y se resuspendió en medio del cultivo para experimentación.

#### Preparación de Fantasmas

Los fantasmas de eritrocitos fueron preparados según el método descrito por Wasserman y colaboradores (15). Se usaron eritrocitos frescos tipo O(+). Las células rojas fueron lavadas 3 veces con una solución NaCl 20mM, KCl, 140mM, TES (Acido N-tris-hidroximetil-2-aminoetano-sulfónico) 20mM, pH 7.4 (solución isotónica), se descartó la capa superior de células blancas y se resuspendieron en solución isotónica al hematocrito deseado y con las adiciones de cada experimento. Un volumen de esa mezcla se transfirió a una bolsa de diálisis y se sometió a diálisis contra 100 volúmenes de una solución NaCl 5mM, KCl 35mM, TES 5mM, pH 7.4 (solución hipotónica), a 4°C por 2 horas. Después de la diálisis se llevó la suspensión a iso-osmolaridad añadiendo 0.1 volumen de solución, NaCl 0,2M, KCl 1,4M, TES 0,2M pH 7.4 y MgSO<sub>4</sub> 20mM, (solución hipertónica) e incubando a 37°C durante 30 minutos. Los fantasmas resellados se recuperaron por centrifugación a 10.000 xg a 4°C por 15 minutos se lavaron dos veces en las mismas condiciones con solución isotónica, y finalmente

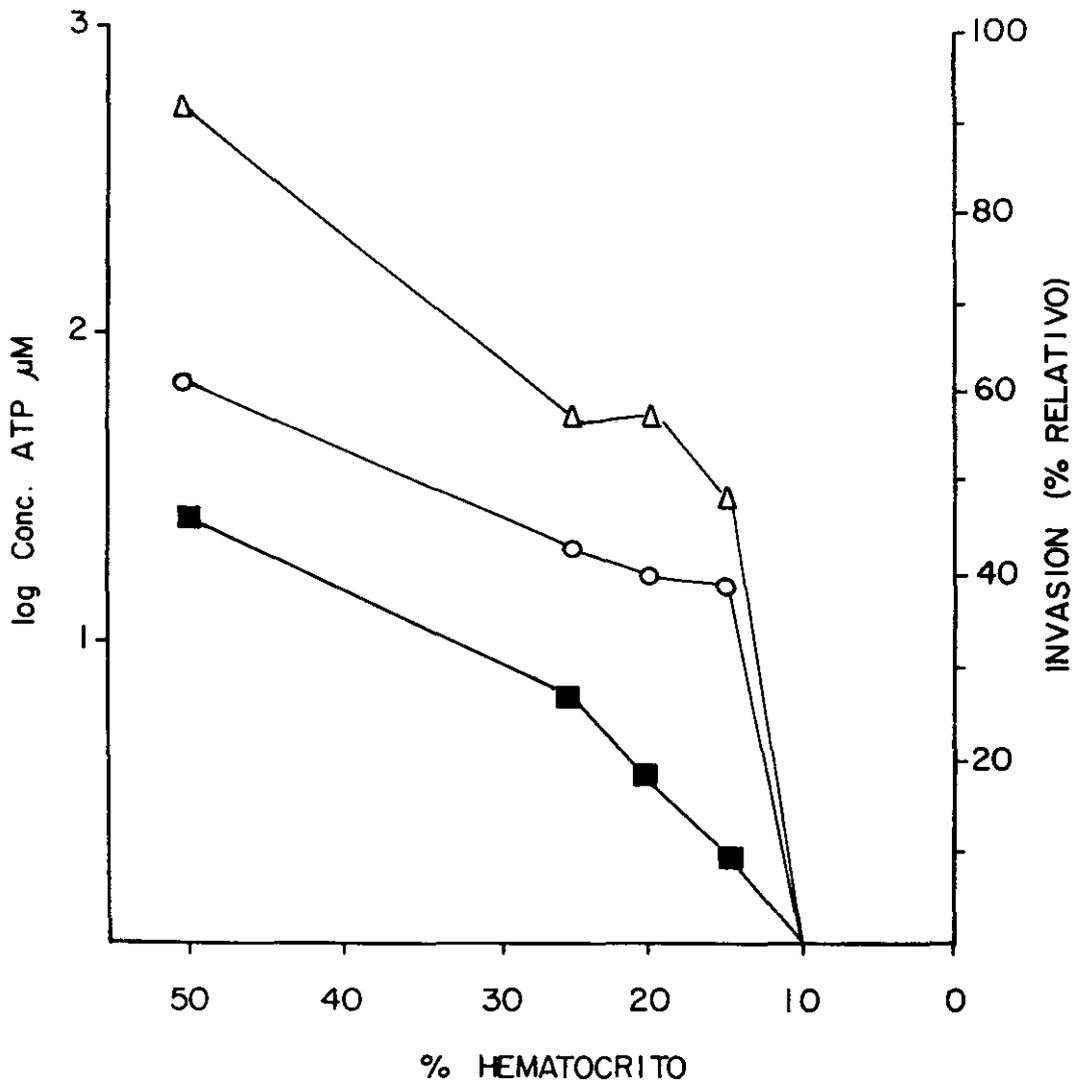


FIGURA 2. Concentración intracelular de ATP e invasión de fantasmas por *Plasmodium falciparum*. ( ○ ) ATP inicial; ( △ ) ATP final (después de incubar los fantasmas a 37°C en medio completo durante 12 horas); ( ■ ) invasión.

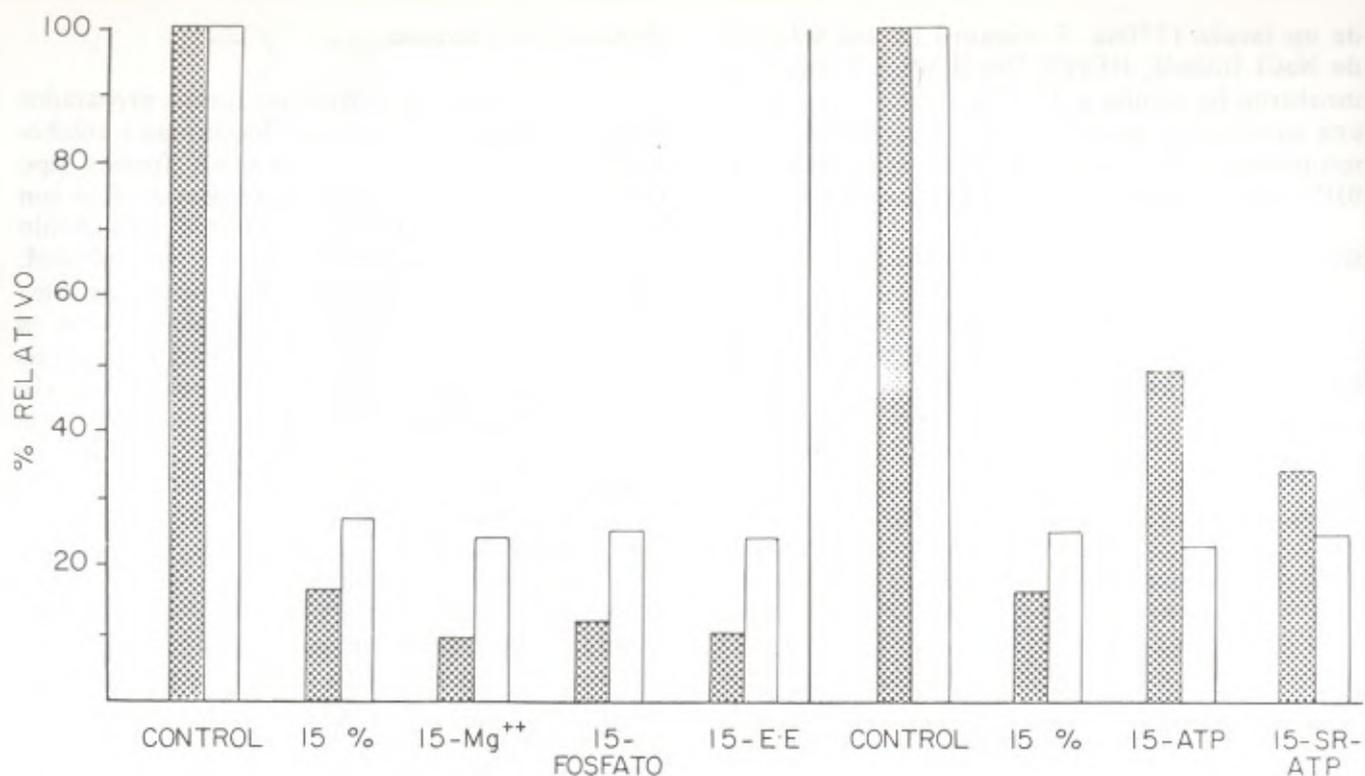


FIGURA 3. Efecto de varias sustancias sobre la invasión de fantasmas por *Plasmodium falciparum*. (▨) Invasión; (□) Contenido de proteína; E. E. = Espermidina; SR-ATP O Sistema Regenerador de ATP.

se resuspendieron al 10% en medio de cultivo completo.

#### Determinación del contenido de ATP

Se llevó a cabo según lo descrito por Stanley y Williams (20). A las células se adicionó 1,5 ml de agua bidestilada en ebullición y se siguió calentando a 92°C por 10 minutos. La suspensión se centrifugó a 1.000xg durante 5 minutos y el sobrenadante se separó y conservó a -20°C hasta el momento de la determinación. Para la medición de ATP se adicionó a 1,0ml de una dilución apropiada de la muestra, 1,0ml de un buffer de arsenato de sodio 0,1M pH 7,4, 1,0 ml de buffer fosfato 0,01M pH 7,4 y 0,1ml de una solución de sulfato de magnesio 0,4M. Inmediatamente antes de efectuar la lectura se adicionó 0,05ml de una suspensión de luciferina y luciferasa (Sigma Chemical Co. St Louis Mo). El centelleo se midió en un contador (Packard Tri-Carb modelo 3020) ajustando la ganancia al 10%, la ventana totalmente abierta y desconectando el circuito de coincidencia. Los valores obtenidos se interpolaron en una curva patrón preparada con el mismo método.

#### Ensayo de Invasión

En todos los experimentos se mezcló 250ul de suspensión de fantasmas con 250ul de suspensión de esquizontes. La mezcla se colocó en placas para cultivo de 24 pozos (Costar, Cambridge MA) y se incubaron a 37°C durante 12 horas en las condiciones del cultivo. El grado de invasión se evaluó por el porcentaje de células parasitadas con anillos.

Los controles fueron células rojas intactas sometidas a los mismos tratamientos que los fantasmas, con excepción de la exposición a la solución hipotónica.

## RESULTADOS

### Invasión en fantasmas con diferente contenido de proteína citoplasmática

Se prepararon fantasmas con diferente contenido de proteína, llevando a cabo el choque hipotónico con suspensiones de eritrocitos de diferente hematocrito. En la figura 1 (barras blancas) se ve que el contenido de proteína disminuye proporcionalmente al hematocrito, siendo el porcentaje de proteína retenida aproximadamente el doble del porcentaje de hematocrito durante la diálisis. La invasión disminuye también proporcionalmente al contenido de proteína de los fantasmas. Es apenas un 9% del control con fantasmas que tienen un contenido de proteína del 30%; por debajo del 20% la invasión no ocurre. Al evaluar las concentraciones de ATP de estos fantasmas (figura 2) antes de someterlos a la invasión, y después de 12 horas de incubación en medio de cultivo a 37°C; se observó que hay también una relación directa entre el contenido intracelular de ATP y la invasión. Aquellos que presentan invasión son los que poseen concentraciones iniciales de ATP superiores a 10uM y que conservan la capacidad de mantener, e incluso aumentar ese nivel. Aquellos que muestran niveles muy bajos de ATP (menos de 3uM), no son capaces de mantener esta concentración intracelular, y no son invadidos.

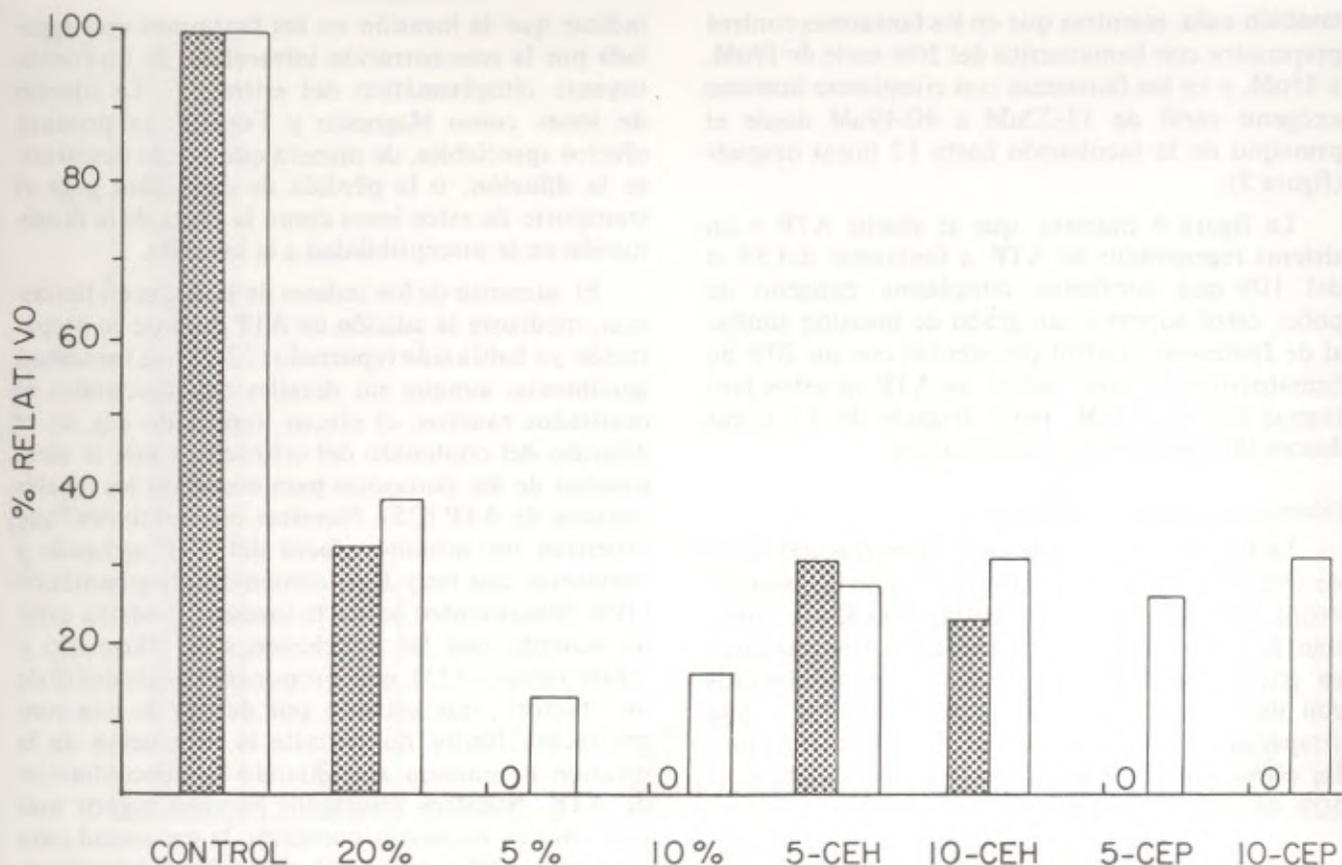


FIGURA 4. Efecto de la proteína exógena atrapada en los fantasmas sobre la invasión por *Plasmodium falciparum*. (▨) Invasión; (□) Contenido de proteína. CEH = Citoplasma de eritrocitos humanos; CEP = Citoplasma de eritrocitos de pollo.

#### Efecto de $Mg^{++}$ , fosfato, poliaminas y ATP en la invasión de los fantasmas

Se prepararon fantasmas por diálisis de eritrocitos a un hematocrito del 15% de forma que el contenido de proteína es aproximadamente un 30% del de eritrocitos normales. Esto permite la invasión, aunque reducida a menos del 20% del control. Cuando se adiciona a los fantasmas durante la preparación diversas sustancias (para que sean atrapadas en ellos), se puede ver qué efecto causan éstas sobre la invasión. En la figura 3 se ve que el  $Mg^{++}$  2mM, el fosfato 10mM y una mezcla de las poliaminas espermina 1mM y espermidina 1mM no aumentan la capacidad de invasión de los fantasmas, por el contrario en todos ellos hay una pequeña disminución, posiblemente no significativa. Sin embargo, la adición de ATP 1mM, o de un sistema regenerador de ATP (fosfocreatina 20mM, ADP 1mM, fosfocreatina quinasa 10U/ml) causan un aumento de la invasión a 49% y 34% respectivamente. El contenido de proteína en todos estos fantasmas es equivalente: no así las concentraciones de ATP, que para los fantasmas sin ninguna adición y con  $Mg^{++}$ , fosfato y espermina-espermidina, varían de 13-16uM al iniciar el experimento hasta 18-25uM después de 12 horas de incubación, mientras que los fantasmas suplementados con ATP mostraron niveles de 19uM al iniciar la incubación de 12 horas y 122uM al terminar, y los suplementados con el sistema regenerador 808uM de ATP al iniciar y

187uM al terminar la incubación. Los eritrocitos control mostraron un nivel inicial de 1500uM y un nivel final de 1800uM.

#### Ensayos de invasión en fantasmas con contenido citoplasmático exógeno

Se usó citoplasma de eritrocito humano iodinado con  $^{125}I(21)$  para medir el atrapamiento de citoplasma exógeno en fantasmas preparados con eritrocitos a diferentes hematocritos, en presencia de varias concentraciones del preparado iodinado. Así se estableció que fantasmas preparados a partir de suspensiones al 5% y al 10% de eritrocitos, en presencia de una solución 35mg/ml de citoplasma exógeno, tiene una cantidad de proteína propia menor al 20%, que no permitiría la invasión, y una cantidad de proteína total (propia más exógena) superior al 40% lo que sí la permitiría, si el citoplasma exógeno fuera equivalente al endógeno.

En la figura 4 se observa que fantasmas preparados en la forma descrita, tienen un contenido de proteína de 30-35% y cuando el contenido total de proteína es logrado con citoplasma exógeno de origen humano, soportan la invasión en forma parecida a fantasmas control. Sin embargo, fantasmas en los cuales se logra un contenido de proteína total similar, pero usando citoplasma exógeno, de pollo (especie que no soporta la invasión de *Plasmodium falciparum*) la invasión es nula. La concentración intracelular de ATP en estos fantasmas es

también nula, mientras que en los fantasmas control preparados con hematocrito del 20% varió de 19uM, a 45uM, y en los fantasmas con citoplasma humano exógeno varió de 13-22uM a 40-49uM desde el principio de la incubación hasta 12 horas después (figura 5).

La figura 6 muestra, que al añadir ATP o un sistema regenerador de ATP, a fantasmas del 5% o del 10% que contienen citoplasma exógeno de pollo, éstos soportan un grado de invasión similar al de fantasmas control preparados con un 20% de hematocrito. El nivel inicial de ATP en estos fantasmas fue de 57uM, pero después de 12 horas descendió a niveles no cuantificables.

#### Desarrollo del parásito en fantasmas

La figura 7 muestra microfotografías del cultivo control, el cultivo sincronizado y la invasión en varios fantasmas. Las microfotografías K y L muestran respectivamente el desarrollo de los parásitos en eritrocitos control y en fantasmas preparados con una suspensión de eritrocitos del 5% y que atraparon citoplasma exógeno de origen humano. En estos fantasmas maduran aproximadamente el 50% de los parásitos que logran invadir.

### DISCUSION

La disminución de los índices de invasión, paralela a la dilución del contenido del eritrocito, parece

indicar que la invasión en los fantasmas está regulada por la concentración intracelular de un constituyente citoplasmático del eritrocito. La adición de iones como Magnesio y Fosfato no produce efectos apreciables, de manera que puede descartarse la dilución, o la pérdida de capacidad para el transporte de estos iones como la causa de la disminución en la susceptibilidad a la invasión.

El aumento de los índices de invasión en fantasmas, mediante la adición de ATP durante su preparación ya había sido reportado (22-25), se mencionó igualmente, aunque sin detalles experimentales ni resultados exactos, el efecto, reportado acá, de la dilución del contenido del eritrocito sobre la incapacidad de los fantasmas para conservar los niveles iniciales de ATP (25). Nuestras observaciones, que muestran un mínimo efecto del ATP agregado a fantasmas con muy bajo contenido citoplasmático (10% hematocrito) sobre la invasión, podrían estar de acuerdo con las conclusiones de Dluzewski y colaboradores (23) que proponen la existencia de un "factor", que estando por debajo de una concentración límite no permite la restitución de la invasión ni siquiera aumentando la concentración de ATP. Nuestros resultados parecen sugerir más bien que es necesario conservar la capacidad para sintetizar ATP y mantener cierto nivel del mismo. Aparentemente esta función dependería de una concentración crítica de las proteínas citoplasmáticas del eritrocito. Se ha reportado un aumento de

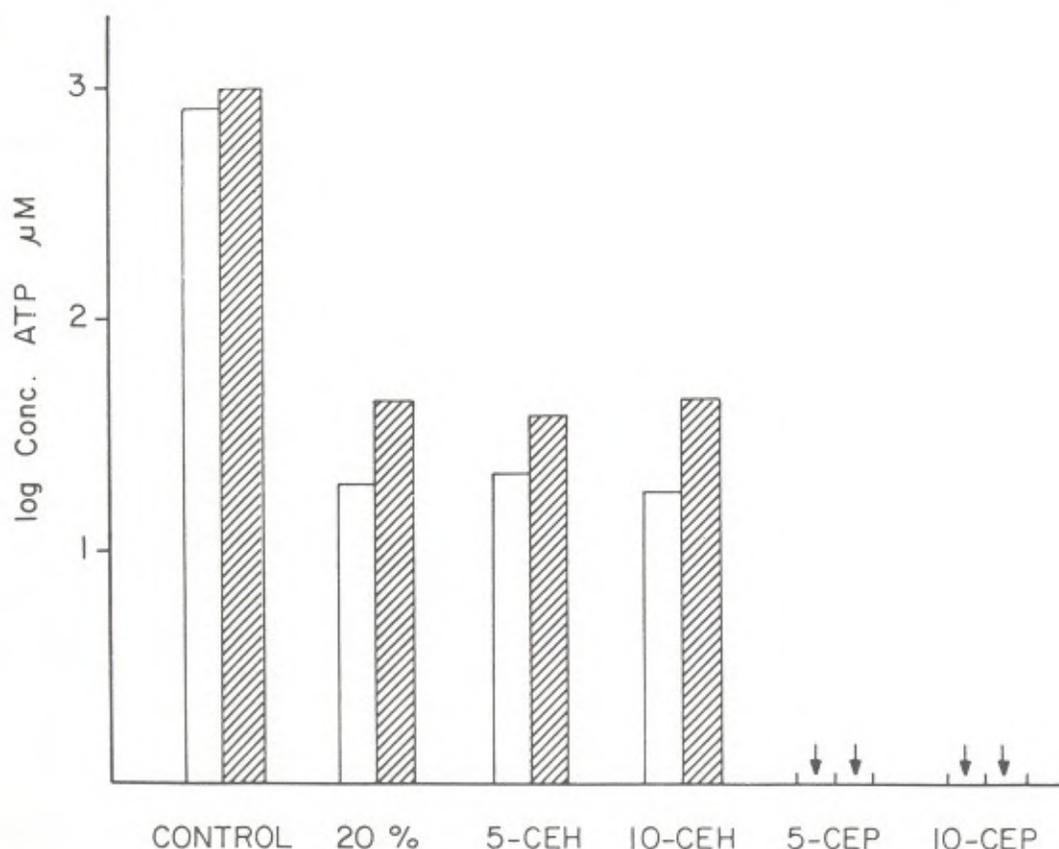


FIGURA 5. Concentración intracelular de ATP en fantasmas que atraparon citoplasma de eritrocitos humanos y de eritrocitos de pollo. (  ) ATP inicial; (  ) ATP final (después de incubar los fantasmas a 37°C en medio completo durante 12 horas).

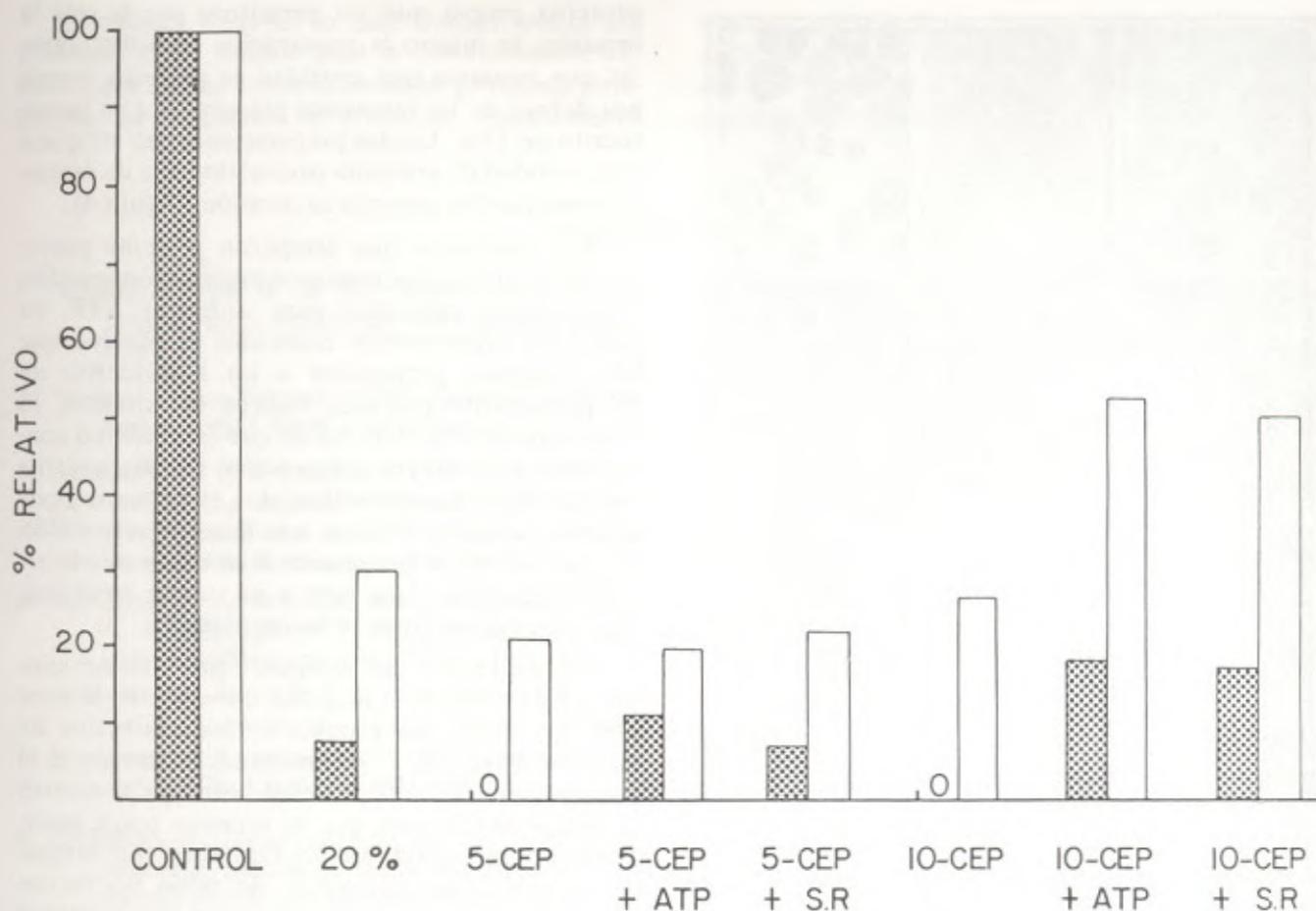


FIGURA 6. Invasión por *Plasmodium falciparum*, de fantasmas que atraparon citoplasma de eritrocitos de pollo suplementado con ATP o sistema Regenerador de ATP. (▨) Invasión; (□) Contenido de proteína.

la movilidad de las proteínas transmembranales causado por el ATP debido a su carácter de polifosfato, mientras que compuestos de carga positiva, como las poliaminas espermina y espermidina, reducen la movilidad de dichas proteínas (26). Nuestros resultados señalan que la concentración relativamente alta de ATP aportada por el sistema regenerador no produce efectos mayores sobre la susceptibilidad a la invasión, y una mezcla de espermina y espermidina causan sólo un descenso muy bajo en ésta. Recientemente se reportó un descenso similar como si fuera apreciable (27) pero, en nuestro concepto, la variabilidad del sistema biológico usado no permite sustentar tal afirmación.

Es probable que el ATP esté implicado en un proceso de fosforilación del citoesqueleto del eritrocito, al tiempo que ocurre la invasión. Ciertamente se ha encontrado fosforilación de una proteína del citoesqueleto de eritrocitos de ratón, aparentemente la actina, luego de ser invadidos por el *Plasmodium berghei* (28). Por otra parte se ha reportado que la adición a los fantasmas, de un análogo hidrolizable del ATP, la adenosina -5'-0- (3-tiotrifosfato), el cual puede ser utilizado por enzimas quinasas produce un efecto similar al ATP, mientras que el uso de un análogo no-hidrolizable (adeninil-imidofosfato) no tiene ningún efecto. Además, la introducción en los fantasmas de adenosina como inhibidor de fosforilación ocasiona una disminución en la invasión (23).

Habiendo observado que la dilución del contenido citoplasmático era la causa de la disminución de la susceptibilidad de los fantasmas a ser invadidos, se examinó la posibilidad de que los factores citoplasmáticos retirados, fueran exclusivos del eritrocito humano o se hallaran presentes en eritrocitos de otras especies. Para esto se utilizaron fantasmas que conservaron una cantidad de proteína propia equivalente a la de fantasmas que no soportan la invasión y a los cuales se introdujeron adicionalmente proteínas provenientes de un lisado de eritrocitos de pollo. La proporción de proteína propia retenida en los fantasmas debía ser bastante baja de manera que los efectos producidos pudieran ser atribuidos a la proteína exógena introducida, ésta debía hacerlos equivalentes a fantasmas que soportan la invasión.

Se escogieron los eritrocitos de pollo por tratarse de células que aunque realizan básicamente una misma función, (transporte de  $O_2$  y  $CO_2$  hacia y desde diferentes tejidos), en otros aspectos son metabólica y filogenéticamente diferentes. Al tiempo que se utilizaban proteínas de un lisado de eritrocitos de pollo, se hizo lo mismo con proteínas de eritrocitos humanos, no sólo como un control, sino también con el objeto de determinar si los factores que fijan el éxito de la invasión ciertamente se encontraban en el citoplasma de la célula roja.

Es claro que el método utilizado permite el intercambio de cantidades apreciables de proteína.

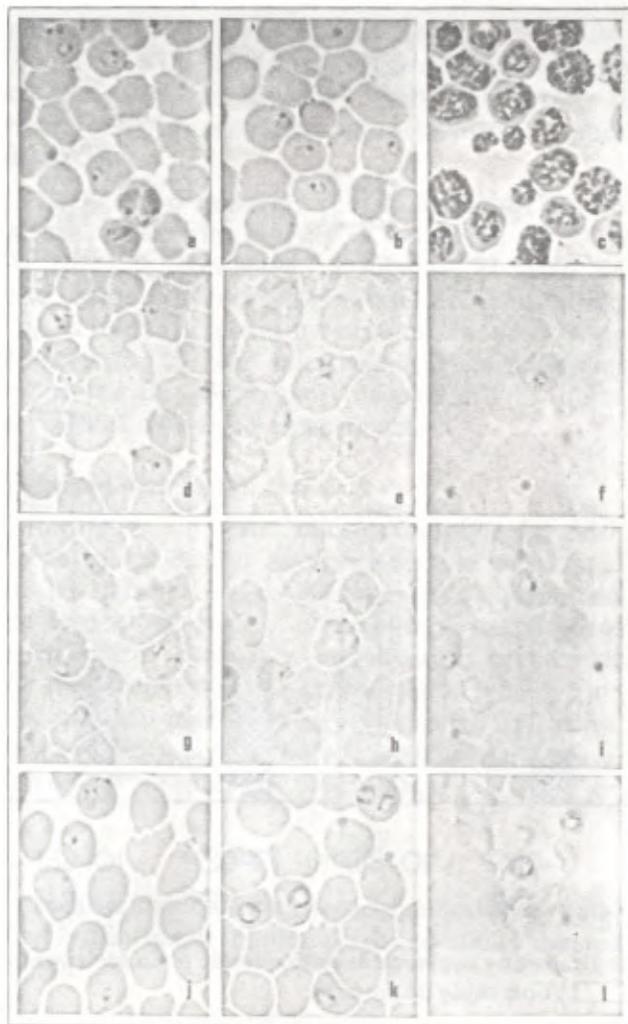


FIGURA 7. Microfotografías de eritrocitos y fantasmas de eritrocitos parasitados con *Plasmodium falciparum*. Coloración Giemsa (x1000).

- a) Cultivo asincrónico.
- b) Cultivo sincronizado.
- c) Esquizontes concentrados en gradiente isopícnico de Percoll.
- d) Invasión en fantasmas preparados a hematocrito de 50%.
- e) Invasión en fantasmas preparados a hematocrito de 20%.
- f) Invasión en fantasmas preparados a hematocrito de 15%.
- g) Invasión en fantasmas preparados al 15% suplementados con ATP.
- h) Invasión en fantasmas preparados al 10% que atraparon citoplasma de eritrocitos humanos.
- i) Invasión en fantasmas preparados al 5% que atraparon citoplasma de eritrocitos de pollo, suplementado con ATP.
- j) Invasión en eritrocitos control.
- k) Desarrollo de los parásitos en eritrocitos control.
- l) Desarrollo de los parásitos en fantasmas preparados al 5% que atraparon citoplasma de eritrocitos humanos.

Las diferencias en cuanto a proteína total en los fantasmas y a porcentaje de intercambio, pueden deberse a las variaciones de viscosidad y presión osmótica producidas por las distintas concentraciones de proteína en el medio, las cuales estarían limitando al tamaño de los poros en la membrana, el tiempo que permanecerían abiertos y la velocidad de difusión de las proteínas en ambas direcciones. De otro lado se observa que la preparación de hematocrito 10% conserva una cantidad de

proteína propia que no permitiría por sí sola la invasión; lo mismo la preparación de hematocrito 5% que conserva una cantidad de proteína propia por debajo de los fantasmas preparados a un hematocrito de 15%. Las dos preparaciones han atrapado una cantidad de proteína equivalente a la de fantasmas que pueden soportar la invasión, (figura 4).

Los fantasmas que atraparon proteína proveniente de eritrocitos humanos presentaron invasión y mostraron capacidad para sintetizar ATP; en todos los experimentos realizados se observó que los fantasmas preparados a un hematocrito de 5% presentaron mayores índices de invasión, lo cual coincide con el hecho de que estas células conservaron una mayor proporción de su proteína original. Esto parece indicar que el factor responsable de la susceptibilidad a la invasión es retenido bien sea en mayor proporción o en mejor estado en estos fantasmas y que éste se encuentra en el lisado, ya que se restituye la susceptibilidad.

Los fantasmas que atraparon proteína del citoplasma de eritrocitos de pollo no soportan la invasión; las proteínas propias de los eritrocitos de pollo no permiten a los fantasmas la síntesis ni el mantenimiento de ATP, el cual como ya se mostró es indispensable para que la invasión tenga lugar. Teniendo en cuenta que los fantasmas que atraparon proteína de eritrocitos de pollo no fueron invadidos y sin embargo contenían una cantidad de proteínas similar a la de las preparaciones que atraparon proteínas de eritrocitos humanos, se puede afirmar que el contenido de proteína dentro de los fantasmas, por sí solo, no determina la susceptibilidad a la invasión.

A esta altura no es posible dilucidar entre dos posibilidades que se presentan: que existen componentes citoplasmáticos en el eritrocito humano que determinan la especificidad de especie, o que es simplemente la deficiencia de ATP lo que impide a los fantasmas soportar la invasión. Sin embargo, la suplementación del lisado de eritrocitos de pollo con ATP o con sistema regenerador de ATP, hace posible que los fantasmas recuperen parcialmente la susceptibilidad a la invasión. Los efectos de ATP o del sistema regenerador junto con las proteínas de eritrocitos de pollo no son equivalentes a los observados en los fantasmas a los que se adicionó sólo ATP o el sistema regenerador, esto se debe a que de todas formas los fantasmas que contenían proteínas de eritrocitos de pollo no recuperan la capacidad para sintetizar ATP. En un ensayo posterior se comprobó que las proteínas de lisado de eritrocitos de pollo poseen una actividad de hidrólisis de ATP muy marcada, la cual competiría con la actividad sintetizadora que pudieran haber conservado los fantasmas.

De acuerdo con lo anterior, se confirma el requerimiento de ATP y queda descartada la posibilidad de la existencia de un factor exclusivo del citoplasma del eritrocito humano como determinante de la especificidad de la interacción entre las células rojas y el *Plasmodium falciparum*.

El sistema descrito en este trabajo, podrá ser utilizado como ensayo para la determinación del efecto que tienen sobre la invasión proteínas purificadas del citoplasma de eritrocito. Posiblemente

por este método se puede caracterizar los "factores críticos" para la invasión, y mejorar así el estado del conocimiento sobre un fenómeno biológico de primera importancia.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 WERNSDORFER W. H. En "Malaria", Vol. 1. Ed. Julius P. Kreier (1980) pp. 1-93. Academic Press. N. Y.
- 2 Tropical Disease Research "TDR". Seventh programme report. (1985). World Health Organization Geneva.
- 3 HERMENTIN P. & ENDERS B., (1984). Erythrocyte Invasion by Malaria (*Plasmodium falciparum*). Merozoites: Recent advances in the evaluation of receptor sites. Behring Inst. Mitt. 76: 121-141.
- 4 DVORAK, J. A., MILLER, L. H., WHITEHOUSE, E. C. & SHIROISHI, T. (1985). Invasion of erythrocytes by malaria merozoites. Science 187: 748-750.
- 5 AIKAWA M., MILLER L. H., JOHNSON J., & RABBEGE, J. (1978). Erythrocyte entry by malarial parasites. A moving junction between erythrocyte and parasite. J. Cell. Biol. 77: 72-82.
- 6 PERKINS, M. (1981). Inhibitory effects of erythrocyte membrane proteins on the in vitro invasion of the human malaria parasite (*Plasmodium falciparum*) into its host cell. J. Cell. Biol. 90: 563-567.
- 7 DEANS, J. E. & LEE, L. T. (1981). Competitive inhibition by soluble erythrocyte glycoproteins of penetration by *Plasmodium falciparum*. Am. J. Trop. Med. Hyg. 30: 1164-1167.
- 8 PASVOL, G., WAINSCOAT, J. S. & WEATHERALL, D. J. (1982) Erythrocytes deficient in glycophorin resist invasion by the malarial parasite *Plasmodium falciparum*. Nature 297: 64-66.
- 9 PASVOL, G., JUNGERY, M., WEATHERALL, D. J., PARSONS, J. F., ANSTEE D. J. & JANNER, M. A. (1982). Glycophorin as a possible receptor for *Plasmodium falciparum*. Lancet 2: 947-950.
- 10 HOWARD, R. J., HAYNS, J. D., MCGINNISS, M. H. & MILLER, L. H. (1982) Studies on the role of red blood cell glycoproteins as receptors for invasion by *Plasmodium falciparum* merozoite. Mol. Biochem. Parasitol. 6: 303-315.
- 11 FACER, C. A. (1983). Erythrocyte sialoglycoproteins and *Plasmodium falciparum* invasion. Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg. 77: 524-528.
- 12 OKOYE, V. C. & BENNETT, V. (1985). *Plasmodium falciparum* malaria: Band 3 as a possible receptor during invasion of human erythrocytes. Science 227: 169-171.
- 13 FRIEDMAN M. J., FUKUDA, M. & LANE, R. A. (1985). Evidence for a malaria parasite interaction site on the major transmembrane protein of the human erythrocyte. Science 228: 75-77.
- 14 IHLER, G. M., GLEW, R. H. & SCHNURE, F. W. (1973) Enzyme loading of erythrocytes. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 70: 2663-2666.
- 15 WASSERMAN, M., ZAKAI, N., LOYTER, A. & KULKA, R. G. (1976). A quantitative study of ultramicroinjection of macromolecules into animal cells. Cell 7: 551-556.
- 16 ESPINAL, C., MORENO, E., GUERRA, P., & DE LA VEGA, P. (1982). Aislamiento y caracterización de cepas colombianas de *Plasmodium falciparum*. Biomédica. 2: 118-128.
- 17 TRAGER, W. & JENSEN, J. B. (1976). Human malaria parasites in continuous culture. Science 193: 673-675.
- 18 LAMBROS, L. & VANDERBERG, J. P. (1979) Synchronization of *Plasmodium falciparum* erythrocytic stages in culture. J. Parasitol 65: 418-420.
- 19 RIVADENEIRA, E.; WASSERMAN, M. & ESPINAL C. (1983) Separation and concentration of schizonts of *Plasmodium falciparum* by percoll gradients. J. Parasitol 30: 367-370.
- 20 STANLEY, P. E.; & WILLIAMS, S. G. (1969) Use of the liquid scintillation spectrometer for determining ATP by the luciferase enzyme. Anal. Biochem 29: 381-392.
- 21 BOLTON, A. E. (1977) Radioiodination techniques Rev. 18 Amersham Int. Plc. Amersham, U. K.
- 22 OLSON, J. A. & KILEJIAN, A. (1982). Involvement of spectrin and ATP in infection of resealed erythrocyte ghosts by the human malaria parasite, *Plasmodium falciparum*. J. Cell. Biol. 95: 757-762.
- 23 DLUZEWSKI, A. R.; RANGACHARI, K.; WILSON, R. J. M. & GRATZER, W. B. (1983) A cytoplasmic requirement of red cells for invasion by malarial parasites. Mol. Biochem. Parasitol. 9: 145-160.
- 24 DLUZEWSKI, A. R.; RANGACHARI, K.; WILSON, R. J. M. & GRATZER, W. B. (1983) Properties of red cell ghosts preparations susceptible to invasion by malaria parasites. Parasitol. 87: 429-438.
- 25 DLUZEWSKI, A. R.; RANGACHARI, K.; WILSON, R. J. M. & GRATZER, W. B. (1982) The effect of ATP on the entry of malaria parasites into resealed ghosts of human erythrocytes. J. Protozool. 29: 636.
- 26 SCHINDLER, M.; KOPPEL, D. E. & SHEETZ, M. P. (1980) Modulation of membrane protein lateral mobility by polyphosphates and polyamines. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 77: 1457-1461.
- 27 DLUZEWSKI, A. R.; RANGACHARI, K.; WILSON, R. J. M. & GRATZER, W. B. (1985) Relation of red cell membrane properties to invasion by *Plasmodium falciparum*. Parasitology 91: 273-280.
- 28 CHAIMANEE, P. & YUTHAVONG, Y. (1979). Phosphorylation of membrane proteins from *Plasmodium berghei*-infected red cells. Biochem. Biophys. Res. Commun. 87: 953-959.

# GENETICA DE POBLACIONES EN EL TROPICO AMERICANO XXIV. CRITICAS A LA TEORIA SINTETICA: ¿AISLAMIENTO REPRODUCTIVO, GRADUAL O ABRUPTO?

Por H. F. Hoenigsberg

Instituto de Genética, Universidad de los Andes,  
Bogotá, D. E., Colombia.

Una de las más importantes premisas para aceptar el agua bautismal de la logia neo-darwinista es admitir que el *aislamiento* sexual resulta como un subproducto de adaptación. La teoría *sintética* de los años 30 y 40 de Dobzhansky, Simpson, Mayr y Huxley, entre los más salientes defensores, advierte que las divergencias entre las poblaciones son resultado de la acumulación de mutaciones puntuales que por selección producen adaptación secuencial y gradual a la circunstancia local y que eventualmente la distancia (= separa) selectivamente de sus ancestros, i.e., para evitar intercruzamientos menos adaptativos. Cuando el aislamiento no está acabado entonces se pondría en marcha la selección para perfeccionar el mecanismo de aislamiento (Dobzhansky, 1951). Este tipo de aislamiento presupone que las poblaciones de una misma especie son entidades demográficamente grandes y que entre ellos hay libre flujo de genes y gran homeóstasis genética que darían a la especie su congruencia en un sólido encaje de poblaciones (Mayr, 1942, 1967, 1970). Los *demos* como respuestas locales y las poblaciones no tienen para la teoría sintética ningún papel evolutivo fuera de ser pasivos instrumentos que proveen con el material de cambio gradual que va a llevar a la especie su *momentum* de cambio secuencial hacia las categorías taxonómicas mayores. La única diferencia con la teoría darwinista radica en que ésta última estima implícitamente que la espe-

ciación puede ser prevalentemente simpátrica mientras que Mayr sugirió (Mayr, 1942, 1963) que tendría que ser alopátrica. Hasta aquí llega el desafío de la teoría sintética puesto que en el papel de selección y adaptación graduales extrapolando desde la población hasta las más incluyentes categorías, la posición sintética rescata los más importantes valores del darwinismo. Sin embargo, Mayr vuelve a desafiar el establecimiento darwiniano proponiendo que pequeños grupos de fundadores son promotores de altas tasas de cambio morfológico en virtud de la 'revolución genética' que a veces su condición de pequeño muestreo del genoma le confiere. Parecería como si la estadística de la variabilidad local viniera a ayudar a la homoselección local (= predominio del mono-morfismo). Sin embargo, los nuevos modelos de genética cuantitativa ponen en tela de juicio tanto la supuesta cohesión por migración como el efecto fundador: pueden haber alternativas basadas en altas tasas de mutaciones poligénicas espontáneas capaces de inyectar (en el aislado y pequeño *demo*) rápida divergencia (Lande, 1976, 1979a, 1979b y 1980).

En los primeros años, la teoría alopátrica y la producción de revoluciones genéticas en la periferia de la distribución indudablemente dio nuevos vientos de renovación a la ortodoxia darwiniana. Sin embargo, Mayr también aceptó que el aislamiento sexual fuese en realidad resultado secundario de la misma adaptación local y rechazó cualquier explicación casuística - estocástica como la propuesta en los 40 por H. J. Muller para la emergencia del distanciamiento sexual. La teoría sintética del neodar-

\* Este artículo lo dedico a los aniversarios de las desapariciones de mis admirados profesores H.J. MULLER, TH. DOBZHANSKY y S. WRIGHT.

winismo de hoy al aferrarse al gradualismo invoca el modelo de *Biston betularia* y de *Cepaea memoralis* de Caín y otros, sobre el fenómeno de melanismo industrial en Lepidoptera, los efectos de área de *Cepaea* y los ecogenéticos de Dubinin en *Drosophila melanogaster* como ejemplos de típica adaptabilidad por sustituciones alélicas. En esencia se presenta a la teoría neodarwiniana enclaustrada en los 3 grandes principios gradualistas desde los cuales supuestamente se puede visualizar la especiación:

(1) Que los cambios producidos sexualmente tienen que ser acumulativos para que puedan dar efectos adaptativos y de especiación,

(2) que aunque la mecánica del proceso de especiación puede ser más rápida de lo anteriormente imaginado (en vista de que, el efecto fundador y posiblemente de deriva de la población local diferenciada actúa dentro de una agrupación genética más amplia) la especiación tiene que resultar de procesos esencialmente acumulativos generados por selección en muchas generaciones,

(3) que los mecanismos de aislamiento sexual gradualmente acumulados alopatricamente puedan perfeccionarse en zonas de contacto dando lugar a especiación parapátrica (Mayr, 1970).

Con una teoría sintética tan precisa y tan notoriamente autoritaria no es de extrañarse que se haya desarrollado una visión singular de cladismo (= separación de linajes) que altera como dice el mismo Mayr (Mayr, 1974) el significado de filogenia, relaciones, monofilia, etc., al verlos solamente en términos de linajes. Los cladistas radicalizados con la ecuación gradualista proyectada desde la población hasta las más altas categorías insisten en que la especiación es divergencia (dicotomía). Además, los sistemas de jerarquización aceptados en la clasificación cladística transformada son imprácticos e irracionales por la automatización implícita que presuponen. En pocas palabras y para involucrar las críticas al artículo de Mayr (Nelson, 1974; Rosen, 1974; Hennig, 1975) parecería como si los cladistas en su afán cladográfico (= ramas de separación entre taxa) no hubieran reflexionado sobre la dificultad en la decisión de características derivadas o primitivas y en la discriminación entre evolución paralela o convergente, con un toque final de desconocimiento de cambios anagenéticos (= transformación de especies con tasas evolutivas diferentes).

A mí me parece que las críticas de Mayr a los cladistas transformados son válidas si se tiene en cuenta que la definición inicial de "clade" sugerida por Huxley (1957) atiende al delimitar unidades monofiléticas y por lo tanto desde ese ángulo no sería sino un método de la sistemática para caracterizar (o delimitar) una jerarquía de grupos. Por el contrario el desarrollo de la teoría cladística, desde el libro de Hennig (1966, 1979, 2da. ed.), ha sido no-evolutivo. Me parece que se ha desarrollado como si la mayor parte del esquema evolutivo fuese innecesario y por lo tanto que pudiera ser eliminado. En el libro de Hennig se refleja la posición del

cladismo tradicional de los años cincuenta, o sea, la especiación, los cambios anagenéticos, el paralelismo, la parentela común, etc. La sintomatología del cambio conceptual con respecto a la transformación cladística está en la importancia que se le da a los nudos en los cladogramas. En el libro de Hennig los nudos representan especies ancestrales mientras que para la "cladística transformada" esa premisa es innecesaria porque implica, según Platnick (Platnick, 1980), dependencia a la teoría evolucionística. En realidad lo que se desea ahora es menos trascendental, pero más efectivo si se quiere. En la cladística transformada, y por eso se merece la crítica de Mayr (l.c., 1974), a lo que se aspira es a ir descubriendo el patrón de agrupaciones y de las jerarquías de tales agrupaciones y las características de grupos. Precisamente por este tecnicismo metodológico no tiene interés en desentrañar filogenias. Mientras para los evolucionistas las agrupaciones sugieren o expresan adaptaciones (Van Valen, 1978), ¡para los "cladistas transformados" no! El sólo hecho de que los no-grupos (grupos no caracterizables) como peces y reptiles tengan características que les merecerían diferentes agrupaciones (= campos) como resultaría en el hecho de que algunos reptiles vayan con pájaros y otros con mamíferos es suficiente para quitarlos de donde están y para colocarlos en lugares que reflejen sus características de grupos. El análisis de la distribución de las características conduce al reconocimiento de las jerarquías de grupos que pueden ser representadas por cladogramas o clasificaciones que expresen la localización parsimoniosa, o sea la explicación más racional de tal distribución.

Sin embargo, no creemos que se pueda seguir sosteniendo que sin la anagénesis no puede haber un estudio serio sobre las jerarquías como pretenden algunos genetistas de poblaciones (Ayala, 1976). Nos parece que por el lado de la genética de poblaciones con la mentalidad de que toda morfología debe tener una explicación adaptativa, no se puede llegar a comprender porque las otras categorías taxonómicas no tienen por qué tener explicaciones de graduales transformaciones anagenéticas. La explicación macroevolutiva puede ser esencialmente cladística.

## EL PARADIGMA DE LA SINTESIS

Mientras Darwin consideró que las subespecies que acumulan divergencia gradual son el principal factor para originar nuevas taxas, el neo-darwinismo aunque admitiendo la variación geográfica adaptativa introdujo una tarea precisa a toda sustitución alélica: el que al ser dirigida por selección natural está irremediamente soldada al proceso de especiación (¡ sea que se realice o no!).

Aunque muy probablemente muchas especies se han originado por medio de acumulaciones graduales de mutaciones puntuales a lo largo de una serie de variaciones geográficas que marchan al tambor de selección natural porque reflejan dife-

rencias adaptativas, sin embargo parece como si otras tantas especies puedan haberse formado por fuera de este esquema gradualístico-selectivo.

El paradigma sintético es que la especiación no es sino una extensión de la microevolución de las variantes de la población local y que por lo tanto la presencia de barreras sexuales no es sino una respuesta de la misma selección y que por lo tanto es un resultado adaptativo no-primario. Lo que se está viendo en muchos estudios sobre aislamiento reproductivo que analizan desde los primeros elementos del cortejo sexual hasta la cópula en sus manifestaciones simpátricas, es que tales elementos del aislamiento reproductivo pueden ser no adaptativos y de aparición primaria. Estamos conscientes de que esta posición no-adaptativa implica una rotura con la teoría sintética aunque de ninguna manera como el darwinismo, dado que se reconoce la validez de la selección natural como la fuerza directriz de los cambios, la fuerza evolutiva que da sentido adaptativo a los cambios azarosos que se presentan en las poblaciones. Sin embargo, se admite que algunos cambios primarios, aún cromosómicos, tengan posibilidades a distintos niveles de iniciar aislamientos reproductivos funcionales.

La selección natural en su significado adaptativo es un agente, que para la teoría sintética, está siempre presente en todo cambio del fenotipo. Al surgir de la población según la "síntesis", y extenderse por toda la especie hacia los géneros, familias, etc., está acrecentando su acción en tal forma que las categorías transpecíficas tendrían que señalar en su parentela genética las huellas de ese gradualismo microevolutivo que se inició en las poblaciones. Esa predicción del gradualismo requiere que se admita que lo que fue respuesta adaptativa local tenga sensatez fisiológica entre individuos de especies, géneros, etc., diferentes que ya no ocupan los hábitáculos que originalmente dieran valor selectivo a los portadores de aquellos genes seleccionados. Nos parece que mientras esa homología genético-ecológica es admisible para especies hermanas que todavía utilizan buena parte del hábitáculo inicial que obligó al parámetro selectivo a propiciar el cambio a través de los aumentos en frecuencias, no se puede admitir que suceda sino en forma muy transitoria para las especies que se han mantenido en ambientes relativamente semejantes. Con los nuevos desafíos ambientales, las poblaciones, aún de una misma especie, pueden iniciar procesos de divergencias que no sean tan graduales y que propongan cambios abruptos que destaquen tales diferencias por medio de arreglos cromosómicos. Estos serían cambios estructurales que no tendrían que esperar divergencias acumuladas puntualmente.

Cuando al gradualismo sintético se le añade como un parche indispensable la especiación alopátrica, se aumenta aún más el rol que se atribuye al papel que la selección debe tener en la construcción de todo aislamiento reproductivo porque teóricamente se obliga a pensar en un sólo tipo de especiación a partir de las poblaciones. Por otra parte, se

le niega a la selección en las poblaciones simpátricas cualquier papel que conduzca a la especiación, puesto que la necesaria introgresión (cruzamiento con la línea original) diluye todo tentativo de aislamiento inicial. Al mismo tiempo se enseña que en la población local están los ingredientes para una posible divergencia genética pero rápidamente se advierte que ese potencial de cambio no puede manifestarse sino teniendo en cuenta a toda la especie, que sería la única unidad taxonómica con capacidad anagenésica y eventualmente con capacidad de proponer separaciones cladísticas. Esta contradicción puede resolverse para la especiación y para las categorías taxonómicas mayores admitiendo que la evolución del aislamiento reproductivo se da en la población local y que el punto al cual va dirigida la fuerza selectiva no es todo el encaje de la especie sino la población. En este punto también nos distanciamos de la teoría sintética.

La ortodoxia alopátrica ve a la especie como una agrupación con coherencia total. Aunque a veces admite que la *panmixia* es hasta relativa como fuerza cohesionante insiste en que las migraciones constantes producen una homogeneización efectiva en la parte central de la distribución en donde presumiblemente no pueden darse discontinuidades poblacionales. La verdad para los que hemos tenido la fortuna de trabajar en el neotrópico americano es que la parte central de una distribución como la de *Drosophila willistoni* (Spassky et al., 1971) no posee un solo sistema ecológico que pueda suscitar la tremenda homogeneización que pide a gritos la teoría sintética en su pretensión excluyente de alopatria. Lo que vemos es una infinidad de nichos y de subnichos que tienen y producen adaptaciones darwinianas locales con sus sucedáneos de separatismo. De tal manera que, esperar que haya esa homogeneización dentro de una unidad que sólo pueda dar discontinuidad genética funcionalmente importante cuando la distancia geográfica impone barreras, es francamente irrealista y separado de los datos que nos da la observación de la naturaleza. A pesar de que White (1978) no lo formula tajantemente como nosotros presenta datos en este sentido. Muchos evolucionistas hemos insistido (Hoenigsberg et al., 1973d; Ehrlich y Raven, 1969) en que el flujo genético es muy débil para sobreponerse a la selección y a otros procesos dentro de los demos. Se nos antoja que con flujos migratorios débiles como los encontrados entre Sochagota y Torobarroso, Chia, Santillana en *Drosophila pseudoobscura* del altiplano cundiboyacense se pueden iniciar procesos intrínsecos a la historia natural del deme, como competencia larval diferencial que pueden producir procesos irreversibles de especiación. Además, hoy por hoy, existen razones de selección estabilizante que son mejores homogeneizadores genéticos de las poblaciones que las mismas migraciones (Lande, 1980). Pero en términos de unidades de varianza genética aditiva, las tasas de mutaciones espontáneas pueden por sí solas mantener la variación heredable que se observa en las poblaciones locales, aun en las características

que están sometidas a fuerte selección estabilizante (Lande, 1976 y Falconer, 1960).

Con lo anterior estamos proponiendo que quizá la mayoría de los *demos* tienen la necesaria independencia para un potencial de especiación local.

La gran objeción que se ha dado a la especiación simpátrica ha sido la presunta homogeneización que da la migración. Pero si los *demos* pueden ser independientes y suficientemente aislados en todo lo largo de la distribución geográfica no hay cabida para la especiación simpátrica ni importancia para seguir hablando de la alopátrica. Los genes de la estructura démica local serían relativamente independientes entre sí aunque geográficamente en simpatria y funcionarían por su independencia como los islotes periféricos de la teoría alopátrica (vea Hoenigsberg et al., 1983a). Conviene decir que el mismo Hoenigsberg et al. (1983b) sugiere que en la periferia de la distribución de *Drosophila willistoni* se dan las condiciones para la teoría de marginalidad de Mayr (1963). Lo que sucede es que esos bolsillos poblacionales se dan constantemente a lo largo de la distribución y contrariamente a lo que se suponía son comunes en la distribución geográfica de esa especie y de otras como en la *Drosophila paulistorum* Macarena y en Colombia en general (Hoenigsberg, Castro y Sanabria, 1973d). Esta objeción a la teoría sintética en general no quiere decir que se niegue la existencia de grandes extensiones poblacionales que puedan considerarse con las características centrales que Carson (1955a, b; 1956; 1959) llama heteroseleccionantes (= predominio de polimorfismo), lo que se está diciendo y se volverá a repetir es que la frecuencia de la situación démica es tal que obliga a descartar la terminología de especiación simpátrica vs. alopátrica como relevantes para la explicación genética del proceso.

## AISLAMIENTOS

A medida que se estudian las especies en sus condiciones naturales se van descubriendo mecanismos de incipiente aislamiento que a veces pueden llegar a ser lo suficientemente eficaces como para iniciar divergencias *in loco* que lógicamente pueden conducir a especiación. La no distinción morfológica (= especies siblings) entre *Grillus pennsylvanicus* y *Grillus velvetis* no sirve para suponer que por lo menos se distinguen por sus gritos cortejales puesto que parecen poseer los mismos elementos y cantos nupciales. Los grillos, que se han distinguido alopátricamente por sus cariotipos y por sus especializaciones estacionales como *Grillus firmus* (este de U.S.A.), *Grillus bermudiensis* (Bermuda), *Grillus campestris* (Europa) han tenido las mismas características cortejales y las separaciones geográficas no han servido para producir las barreras etológicas esperadas. Esto sugiere que no se puede pretender un mecanismo de aislamiento universal como el de Dobzhansky (1951) por razones de especulación teórica. Según Dobzhansky y otros propulsores de la teoría sintética, si los productos de hibridización

son eliminados por selección natural debe surgir una selección para el aislamiento etológico entre las dos formas. Esta selección etológica presumiblemente disminuiría y hasta eliminaría pérdidas gaméticas que luego permitirían que las poblaciones diferenciadas por selección puedan reencontrarse simpátricamente. Sin embargo, este inminente aislamiento etológico no es un *sine-qua-non* para el proceso de especiación puesto que en grillos y sapos se conocen buenas especies que han aparentemente conservado sus voces nupciales ancestrales a pesar de haberse constituido en buenas especies cariotípicas, aunque no morfológicas. O sea, que cuando hay otros factores, como los citogenéticos o los que pertenecen a estrategias de historia natural convenientes para la explotación del nicho local, el aislamiento etológico no tiene por qué jugar un papel primordial como pretende la ortodoxia sintética (Brncic, Nair y Wheeler, 1971). La gran diversidad cariotípica de esas especies parece indicar que los arreglos estructurales son más importantes en la iniciación de la especiación. La justificación para que se piense que los mecanismos comportamentales son los agentes primordiales de la especiación está en que al descubrir mecanismos de aislamiento como los que han surgido por rituales especiales de cortejo sexual, o por sonidos identificables, o por feromonas, etc., el entusiasmo momentáneo llevó a crear frases tremendistas que ya tenían un marco teórico reivindicatorio. De ahí que se haya atribuido a estas expresiones de divergencias, cualidades de agentes primarios de especiación. Los mecanismos de aislamiento reproductivo que han podido haber servido en algunos casos como iniciadores de separaciones genéticas entre poblaciones no tienen por qué ser los únicos ni los primordiales para todas las especies. En algunas especies otros factores no reproductivos (ciclos estacionales diferentes, duración diferencial de los estadios larvales, pupales y de adultos, etc.), pueden dar lugar, según la situación del demo y de su potencial genético y/o cariotípico de respuesta al desafío local, a las separaciones determinantes de la especiación. Si la separación etológica fuese la determinante, la *Drosophila pseudoobscura*, llamada incorrectamente bogotana, debería poseer un aislamiento comportamental de las *Drosophilas pseudoobscuras* de Norteamérica en vista de que ya tiene una incipiente barrera sexual (Dobzhansky, 1975a); en efecto no posee esa esperada diferenciación etológica (Hoenigsberg, 1970 resultados no publicados). En este sentido tampoco nos sirve mucho el conocer la "distancia genética" por alelos alozímicos. Cuando se han hecho para *Drosophila willistoni* la subespecie o semi-especie *quechua* nos da una distancia de 0.20 a pesar de que parece no tener aislamiento etológico con las otras *Drosophila willistoni* del subcontinente suramericano.

En biología tenemos ejemplo para todo. También hay casos como entre las hylas (*Hyla regilla* y *Hyla californiae*) en las cuales, aun cuando se encuentran en simpatria no se producen los refuer-

zos esperados (de cantos nupciales diferenciados) de aislamiento (Ball y Jameson, 1966).

Los datos con las feromonas nos hacen reflexionar sobre la posibilidad de la especiación simpátrica. Nadie puede negar que una diferencia en un gen estructural puede hacer variar la transcripción y cambiar el mecanismo traduccional hasta hacer cambiar la fórmula química de una feromona. Y si el mecanismo molecular propuesto arriba no fuera posible en un determinado momento podría surgir uno de una mutación de un regulador de un sistema operón como el del triptofano o el de lactosa que hiciera un cambio transcripcional permanente. En fin, lo que queremos decir es que cuando la efectividad de un mecanismo de aislamiento depende de un pequeño cambio brusco (como el que ocasiona una mutación) se puede iniciar, si las condiciones de la población local lo permiten, la especiación simpátrica. La diferencia en la feromona femenina del escarabajo *Trogoderma inclusum* y del *Trogoderma glaberum* es que el 14 - metil - 8 - hexadecen - ol - es *cis* en la primera y *trans* en la segunda especie. En general las feromonas sexuales de *Trogoderma* parecen tener una baja acción entre las buenas especies del género aunque sí parecen ser muy específicas entre los géneros.

Los miembros de las especies de los escarabajos *Ips* usualmente viven alopátricamente aunque hay grupos de especies con poblaciones simpátricas o casi simpátricas. Además, las poblaciones de especies diferentes frecuentemente aparecen simpátricas. Entre los diez grupos de especies *Ips* se han encontrado tres feromonas sexuales: (1) *cis* - verbenol, (2) 2-metil - 6 metilene - 7 octan - 4 - ol (= ipsenol), y (3) el 2 - metil - 6 - metilene - 2, 7 - octadien - 4 - ol (ipsdienol). Las especies que pertenecen a un mismo grupo específico tienen mucha atracción mutua. En cambio las especies que pertenecen a grupos diferentes no tienen mucha atracción recíproca. Las especies que no poseen reacciones interespecíficas pueden hasta compartir varias feromonas, sin embargo, el "bouquet" total es diferente. Después de un detallado análisis Hedden, Vite y Mori (1976) concluyen que por lo menos en el género *Ips* es muy improbable que los mecanismos responsables por el aislamiento reproductivo estén determinados por la especificidad de las feromonas y que más bien se deba buscar en las diferencias de las preferencias habitaculares dentro de los árboles que habitan, tales como especificidad de apareamiento y en refuerzos provenientes de incompatibilidad anatómica entre los genitales.

Sin embargo, tampoco estos datos sobre la falta de especificidad feromónica en escarabajos pueden usarse para hacer generalizaciones, tipo teoría sintética, porque mientras no sirven para mantener la integridad de las especies del género *Ips* sí sirven para los Lepidópteros. Las especies de mariposas que son hermanas (= siblings), semiespecies o razas difieren en un conjunto feromónico principal que es sin duda el disparador principal del aislamiento.

Los machos de las especies de polilla, *Bryotropha similis* y *Bryotropha sp.*, que viven simpátricamente son igualmente atraídos, el primero por la forma *cis* del 9 - tetradecenil acetato y el segundo por la *trans*. Sin embargo, cuando se mezclan los dos isómeros no sirven como compuestos atrayentes, parece que cada uno sirve como repelente para la otra especie. En fin, hay otros ejemplos que muestran que las feromonas son buenos compuestos químicos para el aislamiento sexual que pudo, por la naturaleza apenas ligeramente diferente a estas moléculas, surgir simpátricamente de un cambio brusco (= mutacional) o por lo menos no es necesario suponer una gradual transformación por acumulación selectiva de alelos diferentes.

Cuando la separación surge por pleiotropía, a veces abrupta a veces gradualmente, las poblaciones divergen; aunque tales divergencias pueden ser transitorias cuando la introgresión de Anderson (1949) es alta. En las plantas, como lo señalara Anderson, un importante flujo de genes puede revertir por hibridización hacia los orígenes especialmente entre plantas que han sido objeto de manipulación humana. Sin embargo, nosotros (Hoenigsberg y Castro, 1977 no publicado; Castro, 1973 Tesis de Magister) hemos encontrado en *Drosophila paulistorum* Andina y Transicional (¿subespecie o semi-especie?) que en cuatro ocasiones habían erigido barreras cortejales lo suficientemente altas como para mostrar  $X^2$  significativamente homogámicos entre demes separados por un río afluente del Amazonas, perder ese parcialmente construido aislamiento incipiente con unas 10 generaciones de introgresión entre los demes anteriormente separados por el río que luego se redujo a una simple quebrada. Por lo tanto, la introgresión puede ser un importante factor en la evolución de las especies tanto de plantas como de insectos.

## CRITICAS A LA TEORIA SINTETICA

Al principio de este mismo artículo se enunciaron las propuestas que se hicieron al darwinismo en los años cuarenta para darle la necesaria solidez de fundamentado establecimiento que requería para su prueba con el tiempo. Lo que se añadió al darwinismo fueron elementos de gran solidez conceptual como si el darwinismo fuera una teoría física (vea el paradigma de la síntesis en este artículo). Uno de estos elementos conceptuales de gran solidez fue, "el que las especies para ramificarse tienen que estar separadas geográficamente", otro aún más difícil de quebrar fue, "el que solamente por acumulación de cambios genéticos graduales pueden construirse los factores que contribuyen al aislamiento sexual", otro, más aún definitivo fue, "el que solamente por selección se podrían construir barreras de aislamiento", otro elemento sólido fue "que el aislamiento reproductivo es consecuencia secundaria del esfuerzo adaptativo y que no puede ser un resultado primario de selección". Además, vino nuevamente Mayr con otro (Mayr, 1970) elemento conceptual que asume la existencia

de especiación parapátrica que dice "que los mecanismos de aislamiento sexual gradualmente acumulados alopátricamente pueden perfeccionarse en zonas de contacto secundario dando lugar a especiación parapátrica". Los datos que hemos traído a consideración del lector constituyen un desafío a los más admirados elementos de la teoría sintética que a pesar de que son elementos que deberían constituirse en alternativas a la teoría sintética de especiación no han logrado sino sacudir el sólido edificio. Podemos resumir esta serie de datos en 5 o 6 puntos: (1) según la ortodoxia sintética las especies son una unidad fuertemente integrada por constantes migraciones que la hacen prácticamente panmíctica. Y esta visión de sólida unidad le da una misión monolíticamente mesiánica; la de ser la única con capacidad de especiación. La creencia de la teoría sintética del neo-darwinismo es que la especie está lo suficientemente homogeneizada con el continuo flujo de genes que debe tratarse como único objeto poblacional de la selección. Dado que la distribución geográfica presupone por simple observación una posición central y otra periférica, la teoría atribuye a la central la homogeneización en donde se acumulan divergencias de otras geográficamente separadas y a la perifería la precondition para la especiación. Sin embargo, los datos ya presentados nos muestran entre otras cosas que el encaje poblacional de la especie no es tan fuertemente consolidado; sino más bien que a lo largo de las distribuciones, aún simpátricamente, se producen discontinuidades que hacen surgir aislamiento sexual entre semiespecies. Además hay muchos evolucionistas que creemos que a menudo el tal flujo genético es débil en ciertos márgenes o aún en partes extensas de la distribución por ejemplo en *Drosophila paulistorum* entre el Tolima y Caquetá (Castro, 1973, Tesis de Magister) o entre las poblaciones polítipicas de *Heliconius erato* y de *Heliconius melpomene* en Colombia (Turner, 1971 en homenaje a E. B. Ford). La debilidad de la unidad hace posible y perfectamente legítimo que la selección dentro del demo y la presencia de otros factores intrínsecos locales puedan actuar independientemente de los designios de toda la especie. La selección o los procesos no-determinísticos de la evolución local pueden darse a pesar de que de vez en cuando se presenten migraciones distantes (Jones et al., 1981). Lo único que habría que suponer para que esto se verifique es que los procesos reproductivos de aislamiento puedan construirse rápida y primariamente sin el *sine qua non* de la adaptabilidad de la teoría sintética. Por lo tanto, el modelo de una población central genéticamente homogeneizada que previene la diferenciación local y que requiere de sus periferías para ensayar brotes de especiación puede no ser válido puesto que los demos pueden de hecho poseer la necesaria independencia para llevar a cabo la especiación.

Por lo que hemos señalado, la especiación alopátrica no tiene por qué ser la manera única de especiación. Encontramos muy útiles estos términos (simpatria, alopatria, parapatria, etc...) sobre la

especiación. Sin embargo, pensamos que no sea necesario que tengan significados tan excluyentes y por el contenido autoritario que han tenido, que continúen siendo intelectualmente tan esterilizantes. Si las fuerzas homogeneizantes de la parte central de la distribución de las especies no resultan ser tan grandes y pueden presentarse brotes de aislamiento local que surjan por procesos determinísticos o no-determinísticos de la circunstancia local, entonces esto haría que la especiación simpátrica o alopátrica sean abandonados como términos indicadores de procesos únicos y concretos y que se utilicen solamente para evidenciar diferencias de estructura genética central en comparación con estructura genética de aislamiento marginal. Si la estructura genética de los márgenes aislados (Hoenigsberg et al., 1988a) es tan diferente y tan independiente, entonces no hay especiación simpátrica porque en cualquier punto de la distribución pueden darse los elementos potenciadores de la especiación démica. De hecho ésta es la teoría que estamos proponiendo como alternativa.

2. Además, hay serias dudas sobre la necesidad de que la distribución parapátrica sea una simple manifestación de un contacto secundario. Por ejemplo, White (1978) propone que una presencia parapátrica sea primaria y no resultado de un contacto secundario. La presencia simpátrica en los Llanos Orientales de Colombia de varias especies que pertenecen a un mismo grupo tribal como las que pertenecen al grupo *willistoni* = *Drosophila insularis*, *Drosophila equinoxialis*, *Drosophila tropicalis*, *Drosophila willistoni*, *Drosophila paulistorum*, *Drosophila quechua* (?) puede interpretarse a la luz de un proceso de especiación parapátrica que no se originó por contacto secundario, sino por primario. En la misma forma se podrían interpretar casos clinales de especiación.

3. También con datos de ecología-genética se puede vislumbrar un modelo estasiopátrico con cambios cromosómicos como los originadores primarios de mecanismos de aislamiento (Wilson, Bush, Case y King, 1975) suponiendo una especiación rápida como la que proponemos en este artículo (Bush, Case, Wilson y Patton, 1977). En estas estructuras poblacionales, particularmente si son pequeñas en tamaño efectivo, y con un alto índice de consanguinidad, se producirían grandes cambios cromosómicos que pueden fijarse por estadística en pocas generaciones. Wilson y colegas sugieren que la especiación resulte más que todo por regulación génica y rearrreglo que por cambios graduales de genes estructurales que adaptan a condiciones locales. Carson (1978) es uno de los más destacados propulsores de la especiación rápida. Y de Carson (1975) también tenemos la frase que sacude la teoría sintética "...los eventos de especiación pueden iniciarse por medio de eventos catastróficos y estocásticos..." y más adelante dice que propone "...por ciclos de desorganización y reorganización se puede vislumbrar la esencia misma de la especiación...". Sin embargo, pueden existir estructuras

poblacionales que como la de *Drosophila pseudoobscura* del altiplano Cundiboyacense de Colombia tengan gran uniformidad cariotípica heterótica en toda el área aunque escondiendo verdaderos desajustes fenotípicos en los demos! Estos últimos son los indicadores de microevolución local mientras los cariotipos estarían ocupando el espacio macroevolutivo (Cárdenas, Alvarez, Pardo, Iannini y Hoenigsberg, 1988).

4. El punto 3 de las críticas anteriores nos lleva a uno de los más tremendos desafíos a la teoría sintética. El hecho que una estructura genética local pueda llegar a la especiación por un proceso inesperadamente rápido y sin esperar a una acumulación gradual de cambios mutacionales puntuales nos conduce a la necesaria conclusión de una especiación sin la cortapisa determinística como elemento controlador que conduzca a la adaptación. Según la teoría neo-darwinista el aislamiento sexual se produce como un subproducto de la adaptación. Una población a través de una sucesión de cambios adaptativos adquiere suficiente diversidad de su linaje ancestral porque, según la teoría gradualista, en esta forma evita el intercrucamiento desadaptable que es el material con el cual la selección natural perfecciona el aislamiento. Sin embargo, esta interpretación no puede ser aceptada en vista de que los elementos precopulatorios que inducen al aislamiento inicial pueden surgir aún entre poblaciones locales, mutantes y/o cepas consanguíneas (Hoenigsberg, H. F., S. Koref-Santibáñez, 1959b; Hoenigsberg, H. F., and S. Koref-Santibáñez, 1959c; Hoenigsberg, H. F. and S. Koref-Santibáñez, 1960a; Hoenigsberg, H. F. and S. Koref-Santibáñez, 1960b; Hoenigsberg, H. F. and S. Koref-Santibáñez, 1960c; Hoenigsberg, H. F., 1960d; Hoenigsberg, H. F., Y. G. de Mavas and A. J. Chejne, 1964a; Hoenigsberg, H. F., A. J. Chejne and E. Hortobaj-German, 1966a). Además de otras tantas razones experimentales recordemos que las diferencias entre feromonas que separan las especies de escarabajos son mínimas, del tipo que podría surgir por mutaciones. Si la simpatria entre las *Hylas* no produce los esperados refuerzos de aislamiento, ¿en qué queda la especiación gradual que por selección dirige la creación de refuerzos? ¿Por qué entre los grillos de U.S.A., de las Bermudas y de Europa que han vivido siempre alopatricamente no se han producido los cantos nupciales diferenciados que el distanciamiento cariotípico y geográfico señalaría? Con una teoría démica como la que estamos proponiendo la especiación dependería del potencial intrínseco de la estructura genética local y podría surgir de cambios cromosómicos cuya fijación resultaría de fenómenos estocásticos azarosos de los cuales el aislamiento reproductivo surge bruscamente y primero, aunque no posea valor adaptativo. Naturalmente que para que la especie más tarde tenga éxito dependerá de que también haya adquirido

las adaptaciones como grupo local. Sin embargo, insistimos en que el origen no tiene por qué ser adaptativo como lo prescribe la teoría sintética.

#### ERRARE HUMANUM EST, SED IN ERRORE PERSEVERARE DEMENTIS

Desde ahora advierto que yo no sabría decir cuál teoría unificadora, cósmica por lo universal, puede sustituir la ya famosa neodarwinista. Tampoco pretendo que la teoría démica aquí propuesta en estas páginas pueda conseguir el favor de todas nuestras futuras experiencias. Sin embargo, y al mismo tiempo que advierto *in pectore* un gran deseo porque triunfe una visión realista y sin pretensiones de interpretar todos los fenómenos de la biología, como nuestro modelo poblacional advierte en repetidas ocasiones, desearíamos más que todo que sea como un punto de referencia a partir del cual no volvamos a caer en brazos de explicaciones tremendistas. ¿Será necesario insistir en que quien escribe estas líneas tan críticas no está proponiendo un regreso anticuado al anti-darwinismo? ¿Habrá quien piense que somos nostálgicos de las misteriosas interpretaciones religiosas sobre la creación?

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece las lecturas y correcciones propuestas, aunque no siempre aceptadas, de los profesores Danko Brncic, Antonio Prevosti, Antonio Cordeiro, Oswaldo Reig, Francisco Ayala, William Heed, Marvin Wasserman y Ernst Mayr. Este trabajo se realizó en 1981 y se completó en 1982 mientras el autor hacía uso de una gentil invitación del gobierno federal alemán en la Universidad de Tubingen. El autor desea expresar su deuda de gratitud por la amable acogida que el Prof. Dr. D. Sperlich del Departamento de Biología - Laboratorio de Genética de la Universidad de Tubingen, le dispensó. Las reuniones sociales con los Profesores Danko Brncic y D. Sperlich hicieron intelectualmente 'chispeante' y socialmente agradable nuestra estadía en Tubingen. COLCIENCIAS grant No. 200004-1 dio los fondos para los casi 100 trabajos de campo que entre 1968 y 1981 se han hecho para estudiar la especiación de *Drosophila paulistorum* en Colombia, Brasil y Venezuela principalmente. Los fondos de la Fundación para la Promoción de la Investigación y la Tecnología del Banco de la República grant No. EPIT - 55 - 1981 se han usado también para trabajos de campo en los Andes colombianos en la persecución de *Drosophila pseudoobscura* del altiplano cundiboyacense, ¡erróneamente llamada población Bogotá por los autores anglosajones! También extendo mis agradecimientos a las entidades que han hecho posibles tantas colectas.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, E., 1949. *Introgressive Hybridization*. Wiley, New York.
- AYALA, F. J., 1976. Molecular genetics and evolution. pp. 1-20 In: AYALA, F. J., ed. *Molecular Evolution*. Sinauer Associated, Sunderland, Mass.
- BALL, R. W. y D. L. JAMESON, 1966. Premating isolating mechanisms in Sympatric and allopatric *Hyla californiae*. *Evolution* 20: 533-551.
- BRNCIC, D., NAIR P. S. y M. R. WHEELER, 1971. Cytogenetic relationships within the *mesophragmatica* species of *Drosophila*. Univ. Texas Publ. No. 7103 pp. 1-16.
- BUSH, G. L., CASE, S. M., WILSON, A. C. y J. L. PATTON, 1977. Rapid speciation and chromosomal evolution in mammals. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, 74: 3942-3946.
- CARDENAS, H., D. ALVAREZ, M. PARDO, A. IANNINI y H.F. HOENIGSBERG, 1988 (en MS.).
- CARSON, H. L., 1955a. The genetic characteristics of marginal populations of *Drosophila*. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 20: 276-187.
- CARSON, H. L., 1955b. Variation in genetic recombination in natural population. *J. Comp. Cell Physiol.* 45 Supp. 2: 221-236.
- CARSON, H. L., 1956. Marginal homozygosity for gene arrangement in *Drosophila robusta*. *Science* 123: 630-631.
- CARSON, H. L., 1959. Response to selection under different conditions of recombinations in *Drosophila*. *Cold. Spring. Harbor Symp. Quant. Biol.*, 23: 291-306.
- CARSON, H. L., 1975. The genetics of speciation at the diploid level. *Am. Nat.* 109, 83-92.
- CARSON, H. L., 1978. Chromosomes and species formation. *Evolution* 32: 925-927.
- CASTRO, L. E., 1973. Mecanismos de Aislamiento e hibridismo en el problema de especiación de *Drosophila*. Tesis de Magister, Biblioteca, UNIANDES.
- DOBZHANSKY, TH., 1951. *The Genetics and the Origin of the Species*. 3er. ed. Columbia University Press. New York.
- DOBZHANSKY, TH., 1975a. Analysis of incipient reproductive isolation within a species of *Drosophila*. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, 72: 3638-3641.
- ERHLICH, P.R.; and P.H. RAVEN, 1969. Differentiation of Populations. *Science* 165: 1228-1232.
- FALCONER, D. S., 1960. *Introduction to Quantitative Genetics*. Robert Maclehose and Co., Glasgow.
- HEDDEN, R.; J. P. VITE and K. MORI, 1976. Synergistic effect of a pheromone and a pheromone on host selection and colonization by *Ips avulsus*. *Nature* 261: 696-697.
- HENNIG, W., 1966. *Phylogenetic Systematics*. Urbana: University of Illinois Press (second edition, 1979).
- HENNIG, W., 1975. Cladistic analysis or cladistic classification: a reply to Ernst Mayr. *Systematic Zoology*, 24: 244-256.
- HOENIGSBERG, H. F., S. KOREF-SANTIBAÑEZ and G. P. SIRONI, 1959a. Intraspecific sexual preferences in *Drosophila prosaltans* Duda and in *Drosophila aequinoctialis* Dobzhansky. *Experientia*. v. XV/6.
- HOENIGSBERG, H. F., and S. KOREF-SANTIBAÑEZ, 1959b. Courtship elements involved in sensorial discrimination in Inbred and Outbred *Drosophila melanogaster*. *Z. Tierpsychologie*, Ban 15, Heft, 4: 403-409.
- HOENIGSBERG, H. F., and S. KOREF-SANTIBAÑEZ, 1959c. Courtship behavior in Inbred and Outbred lines of *Drosophila melanogaster*. *Ist. Lomb. Sc. Lett.*, vol. 93: 3-6.
- HOENIGSBERG, H. F., and S. KOREF-SANTIBAÑEZ, 1960a. Courtship and Sensory Preferences in Inbred lines of *Drosophila melanogaster*. *Evolution*, 14: 1-7.
- HOENIGSBERG, H. F., and S. KOREF-SANTIBAÑEZ, 1960b. Intraspecific sensory discrimination in *Drosophila aequinoctialis* Dobzhansky and *Drosophila prosaltans* Duda. *Z. Tierpsychologie*, Ban 17, Heft 2: 133-140.
- HOENIGSBERG, H. F., and S. KOREF-SANTIBAÑEZ, 1960c. Observations on the sexual behavior of *Drosophila aequinoctialis* and *Drosophila prosaltans*. *Amer. Nat.* XCIV, No. 378, 282-284.
- HOENIGSBERG, H. F., 1960d. Sexual Behavior: A discussion. *Evolution* 14: 527-529.
- HOENIGSBERG, H. F., Y. G. DE NAVAS And A. J. CHEJNE, 1964a. Sexual selection in captive mutants of *Drosophila melanogaster*. *Z. Tierpsychologie* 7: 785-793.
- HOENIGSBERG, H. F.; A. J. CHEJNE and E. HORTOBAJI-GERMAN, 1966a. Preliminary report on artificial selection towards sexual isolation in *Drosophila*. *Z. fur Tierpsychologie*, Band, 23, Heft 2: 129-135.
- HOENIGSBERG, H. F., L. E. CASTRO and G. R. DE SANABRIA, 1973d. Population Genetics in the American Tropics VIII. The Courtship isolation within *Drosophila paulistorum* incipient "species". *Genética* 44: 39-54.
- HOENIGSBERG, H. F., Y. L. E. CASTRO, 1977. Hybridization in Sympatric and allopatric *Drosophila* of the *Willistoni* group. Unpublished results.
- HOENIGSBERG, H. F.; M. M. E. DE POLANCO; C. A. MONJE, H. C. CASTAÑEDA, G. OSORIO-SANABRIA; L. F. GUTIERREZ and M. ORDOÑEZ, 1983a. Population Genetics in the American Tropics XVIII. The Genetic structure of peripheral *Drosophila pseudoobscura* from Colombia. *Theor. Appl. Gene pseudoobscura* from Colombia. *Theor. Appl. Genet.* 65(4) 295-301.
- HOENIGSBERG, H. F.; M. ORDOÑEZ, C. A. MONJE and H. C. CASTAÑEDA, 1983b. Population Genetics in the American Tropics XIX. The pattern of genetic variation in an isolated population of *Drosophila willistoni* from Colombia. *Zeitschrift fur Zoologische Systematik und Evolutionsforschung* 21: 7-16.
- HOENIGSBERG, H. F.; M. M. E. DE POLANCO, H. BELALCAZAR V.; H. C. CASTAÑEDA; L. F. GUTIERREZ; M. ORDOÑEZ and M. C. GUTIERREZ, 1986a. Genéti-

- ca de Poblaciones en el Trópico Americano XXIII. Selección balanceada y mutacional como medidores de letales equivalentes en *Drosophila pseudoobscura* del Altiplano de Cundinamarca, Colombia. *Evolución Biológica* No. 1. 1987.
- HOENIGSBERG H.F., M. ORDOÑEZ – VARELA, A. MONTAÑO & E. BUSTOS 1988a Population Genetics in the American Tropics XXXV. The pattern of genetic variation in marginal and isolated *Drosophila pseudoobscura* from Colombia. *EVOLUCION BIOLOGICA* No. 2.
- HUXLEY, J. S., 1958. Evolutionary processes and Taxonomy with special reference to grades. Uppsala Univ. Arssk. 1958: 21-38.
- JONES, J. S.; BRYANT, S. H.; LEWONTIN, R. C.; MOORE, J. A., y T. PROUT, 1981. Gene flow and the geographical distribution of a molecular polymorphism in *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics* 98: 157-178.
- LANDE, R., 1976. The maintenance of genetic variability by mutation in a polygenic character with linked loci. *Research* 26: 221-235.
- LANDE, R., 1979a. Quantitative genetic analysis of multivariate evolution, applied to brain: body size allometry. *Evolution* 33: 402-416.
- LANDE, R., 1979b. Effective deme sizes during long term evolution estimated from rates of chromosomal rearrangement. *Evolution* 33: 234-251.
- LANDE, R., 1980. Genetic variation and phenotypic evolution during allopatric speciation. *Am. Nat.* 116, No. 4, 463-479.
- MAYR, E., 1942. *Systematics and the Origin of Species*. Columbia University Press, New York.
- MAYR, E., 1963. *Animal Species and Evolution*. Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge, Mass.
- MAYR, E., 1967. Population size and evolutionary parameters. In Moorehead, P. S., and Kaplan. M. M., eds. *Mathematical Challenges to the Neo-Darwinian Interpretation of Evolution*. Philadelphia. Wistar Institute Symposium Monographs, No. 5 pp. 47-58.
- MAYR, E., 1970. *Populations, Species and Evolution*. Harvard University Press, Mass.
- MAYR, E., 1974. Cladistic Analysis or Cladistic classification? *Zeitschrift für Zoologische Systematik und Evolutionsforschung* 12: 94-128.
- NELSON, G. J., 1974. Darwin-Henning classification: a reply to Ernst Mayr. *Systematic Zoology*, 23: 452-458.
- PLATNICK, N. I., 1980. Phylogeny and the Transformation of Cladistics. *Systematic Zoology* 28: 537-546.
- ROSEN, D. E., 1974. Cladism or Dragism? A reply to Ernst Mayr. *Systematic Zoology* 23: 446-451.
- SIMPSON, G. G., 1944. *Tempo and Mode in Evolution*. Columbia University Press, New York.
- SIMPSON, G. G., 1953. *The major Features of Evolution*. Columbia University Press, New York.
- SIMPSON, G. G., 1961. *Principles of Animal Taxonomy*. Columbia University Press, New York.
- SPASSKY, B., R. C. RICHMOND, S. PEREZ-SALAS, O. PAVLOVSKY, C. A., MOURAO, A. S. HUNTER, H. F. HOENIGSBERG, TH. DOBZHANSKY and F. J. AYALA, 1971. Geography of the sibling species related to *Drosophila willistoni*, and of the semispecies of the *Drosophila paulistorum* complex. *Evolution* 25: 129-143.
- TURNER, J. R. G., 1971. Studies of Mullerian Mimicry and its Evolution in Burnet Moths and Heliconid Butterflies. In: *Ecological Genetics and Evolution* ed. Robert Creed. Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh.
- VANVALEN, L., 1978. Why not to be a cladist. *Evolutionary Theory*, 3: 285-299.
- WILSON, A. C. BUSH, G. L., CASE, S. M., y M. C. KING, 1975. Social structuring or mammalian populations and rate of chromosomal evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.*, 72: 5061-5065.
- WHITE, M.J.D., 1978. *Modes of speciation*. W. H. Freeman. San Francisco, California.

# ETHNOPHARMACOLOGICAL CONSERVATION IN SOUTH AMERICA: A KEY TO PROGRESS IN MEDICINE

Por *Richard Evans Schultes Ph.D., F.L.S.\**

## I

The perspicacity with which man in primitive societies takes advantage of his ambient vegetation has long been a source of admiration. Most of his knowledge of plant uses, of course, must be the result of trial and error. Some of his discoveries of plant properties, however, are so complex that it seems to be almost impossible to explain how they could thus have been accomplished. This complexity is nowhere more obvious than in the intricate recipes for the preparation of arrow poisons.

## II

There have long been two strongly divergent poles in our evaluation of ethnobotany. Some students are carried away in an enthusiastic assumption that native peoples everywhere have a special intuition in unlocking the secrets of the Plant Kingdom. Others cast aside or at least denigrate all aboriginal folk as not worthy of serious consideration by scientists. Both viewpoints, naturally, are unwarranted, proven by the increase in intensive research amongst primitive societies in several parts of the world—especially in Latin America—during the past fifty years.

The accomplishments of native peoples in understanding plant properties so thoroughly must be simply a result of a long and intimate association with their floras and their utter dependence on them. Consequently—and especially since so much abori-

ginal knowledge is based on experimentation—it warrants careful and critical attention on the part of modern scientific efforts. It behooves us to take advantage now of this extensive knowledge that still exists in many parts of the world, lest it be lost with the inexorable onrush of civilization and the resulting extinction of one primitive culture after another. This experimentally acquired knowledge may not much longer be available.

## III

The denigration of aboriginal knowledge of the biodynamism of plants has even led certain specialists recently to assert that there is little or no correlation between native uses of medicinal plants and the chemistry of these species. This viewpoint is not borne out by the history of some of the most recently discovered drugs that have come originally from the plant Kingdom—the so-called “Wonder Drugs” of the past half century.

These numerous “Wonder Drugs” that have revolutionized modern medical practices have almost all first been isolated from plants employed for one purpose or another in primitive or ancient societies: the curare alkaloids; penicillin and other antibiotics; cortisone; reserpine; vincleucoblastine; the *Veratrum*-alkaloids; podophyllotoxin; strophanthine; and other new therapeutic agents (Schultes and Swain, 1976).

Nor is this spirit of denigration being supported by chemical and pharmacological studies of numerous native drug plants currently under investigation.

A statistical study of empirical medicine amongst the Aztecs indicates that their medicinal plants

---

\* Jeffrey Professor of Biology and Director, Botanical Museum, Harvard University (Emeritus).

appear to be effective when judged by native standards. Of the 25 plants evaluated, 16 are known chemically to be able to produce the results claimed by the Aztecs; four could possibly be so active; whereas five—only 20%—seem not to be able to produce the effects attributed to them by the Indians (Ortiz, 1975). While magic and religion played an important role in Aztec medical practices, there did exist a real empirical basis which has often been ridiculed or ignored.

A very recent ethnopharmacological study of *Buddleja*, a loganiaceous genus of 100 species of the tropics and subtropics of both hemispheres, has found a high degree of correlation between the wide variety of uses in traditional medicine and what is known of the chemical composition of the genus (Houghton, 1984).

Numerous similar correlations may be cited amongst the few groups of plants that have to date been ethnobotanically studied.

We can no longer afford to ignore reports of any aboriginal use of a plant merely because they seem to fall beyond the limits of our credence. To do so would be tantamount to the closing of a door, forever to entomb a peculiar kind of native knowledge which might lead us along paths of immeasurable progress.

#### IV

Several botanical explorers of the last century—eg. von Martius and Spruce—stated that the Indians of the Amazon had a limited vegetal pharmacopoeia. This opinion is not easy to reconcile with my own observations over the past 40 years amongst many tribes of the Colombian Amazonia.

Fourteen years of this period were spent in permanent residence in the region. I was able to make 24,000 plant collections; of these, I have notes on the aboriginal use of some 2000 species for their biodynamic properties. I am certain that many uses have escaped my attention, and that future students—if they hurry to get ahead of rapidly advancing acculturation and consequent loss of native plant lore—will discover many more.

Most of these plants for which I have notes have never been seriously investigated; nor, in most cases, is their chemistry even vaguely understood. Some uses may be of little or no practical value, but for others it is possible easily to see or to appreciate their effectiveness. Still others would seem chemotaxonomically to hold promise of the discovery of interesting new active principles. And a few of the uses and claims are so bizarre as completely to mystify the scientific investigator, but no aboriginal use of a plant should be dismissed because it falls outside of our understanding.

Included in my ethnopharmacological notes are at least 32 species used in the northwest Amazon for purposes suggesting possible cardiovascular activity; 78 are involved in the preparation of arrow

poisons; 27 seem to be insecticidal or insect repellent; 42 are employed as fish poisons, three are valued by the Indians as oral contraceptives; 52 are taken as vermifuges; six are said to be stimulants; 11 are esteemed as hallucinogens or narcotics—and so the list could go on.

#### V

There are few areas in the world, I believe, where indigenous populations possess a fuller acquaintance with the properties of their plants than the northwest Amazon. There are perhaps several reasons for this wealth of knowledge of medicinal and toxic plants: first, the region is sparsely populated by numerous tribes of very diverse origin, culture, language and methods of handling bioactive plants; second, the region has, until recently, been by nature rather isolated and protected from penetration by commercial and missionary activity; and third, the region is floristically undoubtedly the most variable and the richest in the Amazon Valley, with certainly 60,000, perhaps up to 80,000 species.

It should, however, be borne in mind that appreciation and utilization of plants for medicinal purposes varies from tribe to tribe. Some—the Colombian Sionas, Kofáns, Witotos, Yukunas, Tanimukas, Kubeos, Tukanos, Barasanas, Makunas, Kuripakos, Puinaves and others, for example—have rich pharmacopoeias. Other groups—the Waoranis of Ecuador, for example, living in the same rich forests—have a surprising dearth of plants medicinally employed: intensive research indicated that they use only 35 species, 30 of which are valued in treating only six conditions (Davis and Yost, 1983), whereas their neighbours, the Kofáns, have at least 80 species for 27 different ailments (Pinkley, 1973).

#### VI

It is true that the “medicines” *par excellence* are those with psychic properties that enable the medicine man through various hallucinations to see or converse with malevolent spirits from whom, they believe, come all sicknesses and death. These “medicines” are manipulated by *payés* or medicine men. It is, however, most certainly untrue that the general native population of this region does not know and use those medicinal plants with purely physical properties to reduce pain or suffering, to lessen uncomfortable symptoms or illnesses, or even apparently, on rare occasions, to cure pathological conditions. They do have many such biodynamic plants which they employ, almost always as simples, eschewing complex recipes and mixtures in medicinal practice.

#### VII

My experience has convinced me that, insofar as plants are concerned, the *payé*, as knowledgeable

as he is, often may know less about the flora in general and its properties than does the general practitioner; the payé usually employs "sacred" plants—hallucinogens or other psychoactive species—administering them in magico-religious ceremonies, with superstitious helps such as sucking, blowing tobacco smoke, fanning with feathers, incantations, etc.

Most tribes have what we might term "regular" doctors-chiefs or "curacas" who do not normally practice much magic but who are well provided with a wide knowledge of the curative or presumed therapeutic value of plants with actual physically active principles. These practitioners might justly be called the ethnopharmacologists of the societies. They usually work cooperatively with the payés, frequently referring difficult or recalcitrant cases to these "specialists".

Then there is also a large body of knowledge of plant properties which is held and shared by the general population of these tribes, and it is this body of knowledge, based on hundreds of years of experience, that may be of the greatest ethnopharmacological interest to us.

## VIII

It may be worthwhile now briefly to discuss several interesting native biodynamic uses of plants in the northwestern Amazon, that area lying in Colombia, Ecuador, and western Brazil, realizing that the selection of these few examples represents but a very small part of the rich ethnopharmacological lore of the region.

One of the best examples perhaps is the hallucinogenic drink variously called *ayahuasca*, *caapi*, *natema* or *yajé* in the western Amazon. It is prepared from the bark of two species of lianas of the malpighiaceae genus *Banisteriopsis*: *B. Caapi* and *B. inebrians* (Schultes 1957, 1972). This bark contains  $\beta$ -carboline alkaloids—harmine, harmaline, and tetrahydroharmine—capable of inducing visions, usually in blues, greys, or purples. With the Indians, I have taken this drink during ceremonies and have experienced its extraordinary effects. To increase the intensity and duration of the intoxication, however, the natives—especially those in Colombia, Ecuador and Perú—sometimes add the leaves of another liana of the same family, *Diplopteris Cabrerana* (formerly known as *Banisteriopsis Rusbyana*), or the leaves of a bush belonging to the Rubiaceae—*Psychotria viridis*—from both of which have been isolated other types of psychoactive alkaloids: the tryptamines (Der Marderosian, Pinkley and Dobbins, 1968; Der Marderosian, Kensinger, Chao and Goldstein, 1970). Tryptamines are inactive in the mammalian body, unless they be protected by a constituent with monoamineoxidase inhibitory activity (McKenna, Towers and Abbott, 1984). The  $\beta$ -carbolines in the bark of the lianas of *Banisteriopsis* act as monoaminoxidase inhibitors. How did unlettered natives find these two appropriate

additives from the 80,000 species in their forests? And how did they learn that the tryptamines in the leaves of these two plants could be active when taken orally with a brew made from the  $\beta$ -carboline-rich *Banisteropsis*?

A similar extraordinary peculiarity concerns the hallucinogenic snuff prepared from a red, resin-like exudate of the bark of certain tropical American trees of the Myristicaceae: *Virola* (Schultes, 1954). This powder has high concentrations of tryptamines—up to 11%, 8% being the highly psychoactive 5-methoxy-*N,N*-dimethyltryptamine (Schultes and Holmstedt, 1968). These tryptamine alkaloids, of course, can be bioactive in the form of snuff. I discovered, however, that the Boras and Witotos of Colombia and Peru do not use these narcotic plants as a snuff but ingest the exudate prepared in the form of pills with no additive except an inert ash coating (Schultes, 1969; Schultes and Swain, 1977; Schultes, Swain and Plowman, 1977). How could these tryptamines, then, be active when taken orally? Further chemical examination disclosed the presence in the exudate of trace amounts of  $\beta$ -carbolines which, of course, serve as a built-in monoamineoxidase inhibitor.

This genus *Virola* is of further ethnopharmacological interest. Numerous tribes in Amazonian Colombia apply the resinous exudate fresh to fungal skin infections with positive results which may be cures or merely suppressants (Schultes and Holmstedt, 1971). Twice I dried bark specimens and sent them to laboratories for analysis; nothing fungicidal was found in the samples. Recent chemical work in Brazil on fresh material has yielded several chemical constituents—lignans and neolignans—that may account for the anti-fungal activity (Gottlieb, 1979; Gottlieb, pers. comm. 1984). In drying the bark under the tropical sun, I may have altered the chemical composition—perhaps through enzymatic activity.

One of the unexplained ethnopharmacological phenomena in the northwest Amazon is the Indian's ability to distinguish ocularly in the forest—and often at considerable distance—differences in plants that cannot be perceived by even the most experienced taxonomic botanist (Schultes, 1986 b). Two examples will suffice to indicate this keen familiarity with the plants that he uses.

Yoco is a caffeine-rich liana of the westernmost Amazon of Colombia and Ecuador: *Paullinia Yoco* of the Sapindaceae. The high concentration of caffeine—3%—occurs in the bark, from which the Kofáns, Sionas, Inganos and other Colombian and Ecuadorian Indians prepare a cold-water drink taken in the early morning as a strong stimulant (Schultes, 1942). These natives distinguish and have names for at least nine "varieties" (Schultes, 1986 a). Some are said to be "stronger"; others are employed for certain purposes (eg., on days when hunting is to be done); some are reputedly "inferior". I have worked on yoco for many years, and other botanists have collected specimens of these "varieties":

none of us has been able to find any visible morphological differences. They may represent age-forms, ecologically specialized adaptations, chemovars or other variants: yet the ability of the native collector who chooses a special variant for collection never errs in identifying the kind that he wants without any tactile or taste experiment and often many yards from the huge trunk of the liana, the leaves of which are usually high and out of sight in the tree-tops. We have not yet had an opportunity for analyzing the bark of these several variants—and even if we did learn of chemical differences, the question remains: What criteria enable such quick-sighted identification of wild lianas in the forest?

Another even more astonishing example concerns the different aboriginally recognized variants of the narcotic liana *Banisteriopsis Caapi*. In the Colombian Vaupés, the Kubeos, Tukanos, Barasanas, Makunas and other tribes have names for and different uses of a large number of “kinds” of *Banisteriopsis Caapi* (Reichel-Dolmatoff, 1978; Deltjen, 1978-79; Schultes, 1972; Schultes, 1986a). Again, botanists can find no morphological characters with which to distinguish these “kinds”, although the native can identify them at sight. They are differentiated by the Indians primarily on their biodynamic effects, even though the natives insist that in identifying them they must consider such aspects as soil type, whether or not the liana grows in dense forest or near clearings, if it is found in a locality held to be sacred or bewitched, distance from a river or a cataract, age or size of the vine, the part of the plant from which the material is to be taken, whether the narcotic drink is to be used in a curing ritual or in a magico-religious ceremony and many other peculiarities. Even the method of preparing the intoxicating beverage must vary in accord with the “kind” of the plant to be used. Then, further, the effects are said to differ widely: the colours and objects that appear in the hallucinations may vary from one to another; certain “kinds” enable easier communication with ancestors or friendly spiritual forces; some enable the payé more easily to diagnose an illness and prescribe the cure; others, the Indian believes, make prophecy of future events more accurate. To be sure, there is much of superstition at the basis of this type of classification and use of the narcotic, but there is enough agreement from numerous tribes and sufficient challenge to warrant intense investigation by ethnobotanists and chemists of recognition of the “kinds” of *Banisteriopsis Caapi*.

South America—especially the Amazon—is the world centre for the use of arrow poisons, although peoples around the world have learned to use lethal darts or arrows.

Notwithstanding the extraordinary amount of research that has gone into the study of curares or arrow poisons in the last half century, I believe that our understanding of the vegetal constituents and admixtures of the often complex recipes is still

embryonic. This incomplete knowledge is probably nowhere more in evidence than in our inability to explain the role of many of the additives employed together with the active plants. Which of these additives increase the toxicity of the main ingredient, which enable the poison to adhere to the darts, which may facilitate easier penetration of the bioactive principles into the blood stream, which may be acting synergistically, which are added for magic or superstitious reasons?

Much—in fact, most—of the recent research has centered upon several menispermaceous genera—*Abuta*, *Chondrodendron*, *Curarea*, *Sciadotenia*, and *Telitoxicum*—and upon the loganiaceous genus *Strychnos*; these are the bases of the commonest Amazonian curares. But we have discovered many other plants employed either alone or in formulas for preparing minor arrow poisons; few of these plants have ever been chemically studied.

The leguminous alkaloid-rich genus *Ormosia*—especially the arrow-poison ingredient *Ormosia macrophylla*—ranks high in the need for analysis (Schultes, 1967). The Kofán Indians of Colombia and Ecuador, who seem to employ the greatest assortment of arrow poison plants, make an effective and their most highly prized curare from the fruits and roots of the thymeliaceous *Schoenobiblus peruvianus* (Schultes, 1949), with no admixtures. This plant is likewise used as a fish poison by these Indians (Schultes, 1969). While coumarine derivatives are known from the Thymeliaceae, there is no indication that these constituents may act in killing animals. These Indians likewise use the fruits of *Unonopsis veneficiorum* of the Annonaceae—reported in the early part of the last century from the Río Japurá in Brazil by von Martius (Schultes, 1969). The Barasanas of the Colombian Vaupés still make one of their best curares from the bark of this tree (Schultes, 1977, 1980). Although *Unonopsis* was reported as a source of curare 150 years ago, its alkaloidal content was not elucidated until 1959 (Fries, 1959). It is significant that the Indians of the Vaupés still utilize species of *Gutteria* of this alkaloid-rich family as ingredients of some of their minor arrow poisons (Schultes, 1980). The Kofáns value also the bark of another annonaceous treelet—a species of *Anaxagorea*—in preparing a type of curare (Schultes, 1977, 1980). Cyanogenesis has been reported from a Philippine species of this genus. The Waika Indians of northern Brazil tip their arrows with the resinous exudate of the bark of *Virola theidora*—the same tryptamine-rich exudate from which they prepare their hallucinogenic snuff (Schultes and Holmstedt, 1968); although these Indians prepare a curare also from *Strychnos*, it appears that the *Virola* exudate, with no admixture, is their preferred curare. No chemical constituent capable of acting as a curare has as yet been isolated from the plant. A most challenging report of a curare plant is the use by the Makú Indians of the Río Piraparaná of the bark of *Vochysia columbiensis* (Schultes, 1977). These nomadic Indians have the reputation in the Colom-

bian Amazonia of preparing the strongest curare, and they consider this *Vochysia*—which they employ apparently with no admixture except the leaves of *Urospatha*—to be the active ingredient. Yet we know almost nothing of the chemical constituents of the Vochysiaceae.

As with curare, the Amazon basin appears to be the region of use of the greatest number of ichthyotoxic plants. While the most common Amazonian fish poisons belong to the genera *Lonchocarpus*, *Phyllanthus*, *Clibadium*, and *Tephrosia*, many plants are employed in remote areas as minor fish poisons in times of emergency or when the major types are not easily available. A curious fish poison is prepared from the leaves of the araceous *Philodendron crasspedodromum* amongst the Indians of the Vaupés: the leaves, bound up and left to ferment for several days, are then crushed and thrown into still water (Pinkley, 1973). The Kofáns mix the leaves of *Phytolacca rivinoides* with those of *Phyllanthus*. In the Río Kuduyarí, the bush *Conomorpha lithophyta* of the Myrsinaceae is employed; it is perhaps significant that a related species of this genus is a major fish poison in British Guiana. Amongst the various tribes of the Río Vaupés, the pulp of the fruit of a species of *Caryocar*, rich in saponines, is commonly mixed with mud for stupefying fish (von Reis, 1982). The Witotos employ the bark of *Rourea glabra*, crushed and thrown into the water (Schultes, 1969). The Tikunas of the Río Loretoyacu dry the pulp of the large fruit of the bombacaceous *Patinoa ichthyotoxica* and keep it throughout the year as a minor fish for use on short canoe trips. To date, nothing is known of the possible biodynamic chemical constituency of this pulp (Schultes and Cuatrecasas, 1972). The Waorani Indians of Ecuador esteem the bark of the bignoniaceous *Minquartia guianensis* as an ichthyotoxic plant (Davis and Yost, 1983). *Anthodiscus obovatus* and *A. peruanus* are employed as fish poisons in the Brazilian and Colombian Amazon, respectively. Nothing is as yet known of the chemistry of these two caryocaraceous species (Schultes, 1969). The natives of the Colombian Vaupés use the bark of the stem and root as well as the leaves of the connaraceous *Connarus opacus* and *C. Sprucei* as fish poisons (Schultes, 1969); the chemistry of the Connaraceae is very poorly known and the family most certainly represents one of the areas in the angiosperms where phytochemists should concentrate attention.

Amongst the ten or twelve plants valued as insecticides or as insect repellants, there are several that deserve study. Perhaps the most interesting is a common weedy shrub of the leguminous genus *Cassia* which is known in local languages as “flea plant”. Indians of several tribes in the Vaupés dust their clothes and hammocks with the powder of the dried leaves (Schultes, ined.).

The medicinally employed plants number too many to detail, but a few are of such interest that they should be noted.

The Makunas and others cultivate *Cayaponia ophthalmica* of the Cucurbitaceae for preparation from the leaves of a wash for the eyes in treating the ever prevalent conjunctivitis, apparently with success (Schultes, 1964); other notable anti-conjunctivitis plants that seem to be effective are two: malpighiaceae lianas *Hiraea apaporiensis* and *H. Schultesii* (Schultes, 1972). In this connection, a recently published ethnobotanical study of *Martinella*, a bignoniaceous genus of several species ranging from Mexico to the Amazon, is of extreme significance (Gentry and Cook, 1984). An extract of the root of *Martinella obovata* is widely employed by aboriginal groups throughout northern South America as an “eye medicine”. There are numerous references to this use by botanists who have worked in widely separated regions. These references, according to the author of the report, yield “compelling evidence that *Martinella* contains medically useful properties” and that chemical analysis and clinical testing is in order. In my own ethnobotanical studies, I found that the Barasana Indians employ the bark of this plant as a febrifuge (Schultes, 1970), but, in connection with a medicinal use for eye problems, my notes indicate that another related bignoniaceous liana—*Arrabidaea xanthophylla*—is valued in the Colombian Vaupés in treating conjunctivitis (Schultes, ined.).

The incidence of intestinal parasitism is high, and many plants are reported to be effective vermifuges. Amongst the most interesting is an oil from the seed of the leguminous trees *Monopteryx angustifolia* and *M. Uaucu* (Schultes, ined.) and a tea of the bark of the violaceous *Corynostylis volubilis* (Schultes, 1964).

Several plants, I found, are used in the belief that they have contraceptive properties: *Philodendron dyscarpium*, *Urospatha antisyleptica* and *Anthurium Tessmannii*—all members of the Araceae—are valued for this purpose. The Bara-Makú of the Río Piraparaná in Colombia know *Pourouma cecropiaefolia* as *we-wit-kat-tu*, a name which means “no children medicine”: scrapings of the root are rubbed in water and the drink is given to women and, according to the natives, causes permanent sterility (Schultes, ined.; voucher herbarium specimen *Silverwood-Cope 14*).

An interesting abortifacient reputedly of great strength is said by the Makú Indians to be the leaves of *Vochysia lomatophylla* in warm *chicha*, slightly fermented drink made from *Manihot esculenta* (Schultes, ined.). This same species is valued by the Campa Indians of Peru as a possible contraceptive (Altschul, 1970).

As might easily be suspected, plants employed as febrifuges are many. Those seeming to deserve very special chemical and pharmacological attention are the solanaceous *Brunfelsia grandiflora* and *B. Chiricaspi*, the chemistry of which is extraordinarily complex and still far from being fully understood (Plowman, 1977). Other important febrifuges are the malpighiaceae *Tetrapteris styloptera* Schultes,

1975); the apocynaceous *Aspidosperma Schultesii*, *Himatanthus bracteatus* and *H. phagendoenicus* (Schultes, 1979).

An interesting recipe for a vermifugal preparation combines the boiling of bark of the menispermaceous *Adontocarya tripetala*, the bark of the sapotaceous *Matisia cordata* and the fruits of *Capsicum annuum* (Schultes, ined.).

Several species are utilized as styptics to staunch the flow of blood from wounds: *Helosis guianensis* (Schultes, 1949) of the Balanophoraceae –or to stem nose-bleeding: *Costus erythrocoryne* and *Quiina leptoclada* of the Zingiberaceae and Quiinaeaceae, respectively (Schultes, ined.).

Various infections of the skin, such as ulcers and slow-healing wounds are poulticed with the ashes of several species of *Tetrapteris* mixed with an oil, frequently from the fruits of the palm *Jessenia Bataua*. Crushed boiled leaves of the malpighiaceae *Mascagnia glandulifera* are said to be effective as a poultice in ripening boils (Schultes, 1975).

There are numerous plants valued for treating skin infections of probable fungal origin, a very common ailment in the wet tropics –the resin-like exudate of *Componeura debilis*, of several species of *Iryanthera*, *Dialyanthera* and *Virola* (especially *V. theiodora*)– all of the Myristicaceae (Schultes and Holmstedt, 1971). At least two species of the guttiferous genus *Vismia* –*V. angustifolia* and *V. guianensis*, both of which have reddish brown resins, are likewise employed (Schultes, ined.). The gum extracted from the pseudobulbs of the abundant orchid *Eriopsis sceptrum* (Schultes, 1977), a decoction of the bark of several species of *Vochysia* (Schultes, 1977), an infusion of the leaves of the markgraviaceae *Souroubea crassipetala* and the powdered bark of *Calycophyllum acreanum* and *C. Spruceanum* of the Rubiaceae (Schultes, ined.). A warm decoction of the leaves of the araceous *Anthurium crassinervium* var. *caatingae* is used by the Kubeos as an ear-wash to relieve a condition due probably to fungal infection (Schultes, 1978).

One of the most commonly used medicinal plants of the Makunas is the malpighiaceae *Mezia includens*: the root is considered to be strongly laxative, crushed and soaked in water in which farina flour (from *Manihot esculentum*) has been setting for several hours. The boiled leaves make a strongly emetic tea, and, when applied as a cataplasm on the abdomen, they are said to help a condition that appears to be hepatitis (Schultes, ined.).

Despite its toxicity, *Aristolochia medicinalis* is administered in the Vaupés as a tea amongst the Kubeos to calm what appear to be epileptic seizures. The treatment, it is said, may sometimes be worse than the disease, since use of this tea, it is alleged, can lead to permanent insanity, if it is not given with extreme caution. Another plant employed as

a kind of tranquilizer is the myristicaceae *Componeura capitellata*: a tea of the leaves and twigs is administered when a person, in the words of the Indian, “goes crazy and shakes all over” (Schultes and Holmstedt, 1971). It may be significant that in southeastern Brazil, another species of this family –*Virola Bicuhyba*– is said to have narcotic properties and to be employed as a “brain stimulant”.

The number of plants valued in treating such common problems as rheumatism and arthritic pains, dysentery and diarrhoea, sores in the mouth, festering wounds, pains in the chest, edema, persistent coughs and other pulmonary conditions, disability due to age and a host of other physical abnormalities and pathological conditions is exceptionally large.

## IX

This brief account, I hope, will afford an indication, even though superficial, of the wealth of material that ethnobotanical studies in one small area of the tropical world present –the northwest Amazon. Multiply this, if you will, many times to include the numerous still more or less untouched parts of America, Asia and Africa. It is at once obvious what a vast reservoir of still virgin information on plant properties remains to be tapped and salvaged. This ethnopharmacological information has not only its academic interest but can be put to practical use for the benefit of all of mankind.

We can profitably employ ethnopharmacological data to help orient programmes of phytochemical analyses in combination with chemotaxonomic knowledge. Searching for new biodynamic compounds in those parts of the Plant Kingdom known to have an abundance of biodynamic constituents is certainly an excellent avenue for research. To take advantage of what aboriginal peoples have learned over the centuries, however, can provide us with a kind of “short cut” for deciding which of the 500,000 or so plant species in the world most urgently demand examination. For, if chemists are to set about analyzing one by one all of the 80,000 species in the Amazon, the project will probably never be carried to completion. Let us, therefore, take advantage of the store of knowledge in the possession of the payés and native practitioners of the world’s so-called primitive societies.

## X

Belief in the wisdom of this approach and with the realization that much ethnobotanical knowledge is disappearing faster than some of the plants themselves are the bases for a new thrust in ethnobotanical conservation being supported by the World Wildlife Fund –U.S. at the Botanical Museum of Harvard University. It is not only financing a modest programme of field investigation in parts of tropical South America still ethnobotanically rich but threatened with the advance of western civilization, but it has set up an Ethnobotanical Specialists Group. This Group consists of botanists,

anthropologists and experts in related disciplines around the world. Its purpose is primarily to encourage ethnobotanical efforts through publication of a newsletter, interchange of ideas, reports of projects and evaluation of progress of programmes underway by researchers working often alone and sometimes internationally unknown—in short, the bringing together of investigators dedicated to ethnobotany in many countries (Plotkin, 1983).

## XI

During this discussion, we have mentioned *ethnopharmacology*. Exactly what is ethnopharmacology? It refers, of course, to the medical or pseudomedical use of plants and animals in pre-literate societies—but it is much more than that. It is a branch of that fast-growing interdisciplinary field commonly called *ethnobotany*—a field that has developed so rapidly in recent years that it now has subdivisions such as ethnopharmacology, ethnomycology, ethnoecology, archaeoethnobotany, etc., so rapidly that sections of international congresses are given over to it and so rapidly that several prestigious new journals have been established during the past ten years for the publication of research in this area of science.

A very recent paper entitled “Ethnopharmacology—a Challenge” sets forth a succinct definition of *ethnopharmacology*: the observation, identification, description and experimental investigation of the ingredients and the effects of indigenous drugs” (Holmstedt and Bruhn, 1983). The writers, both chemists, further argue that “ethnopharmacology is not just a science of the past, utilizing an outmoded approach. It still constitutes a scientific backbone in the development of active therapeutics

based upon traditional medicine of various ethnic groups. Although not highly esteemed at the moment”, they submit “it is a challenge to modern pharmacologists”. “The ultimate aim of ethnopharmacology”, these specialists maintain, “...is the validation (or invalidation) of these traditional preparations, either through isolation of active substances or through pharmacological findings”. It remains, however, that only intensified field work will save ethnopharmacological information from disappearance, that the ethnobotanical and botanical steps are the first ones that must be taken and that they are the most urgently needed for the preservation of this information for further, more critical, examination.

## XII

We are left, then, with the indisputable assurance that the Plant Kingdom remains a fertile and, in great part, virgin field for scientists interested in the discovery of biologically active compounds that are waiting in silent hiding. The Plant Kingdom, in other words, is a veritable emporium of new chemical compounds, many of them biodynamic, some of them undoubtedly of value as potential new therapeutic agents or bases for new semi-synthetic compounds.

The pharmaceutical industry in the United States has attained in the prescription market alone, annual sales in excess of \$3,000,000,000 from medicines isolated first from plants, many of them discovered in use amongst unlettered peoples in aboriginal societies around the world (Schultes and Farnsworth, 1980). Can we afford any longer to neglect this prolific and promising treasure-trove of knowledge and disregard ethnobotany, a major key that can help unlock it for the benefit of humankind?

## BIBLIOGRAPHY

- ALTSCHUL, S. VON R. 1970. “Ethnogyneological notes in the Harvard University Herbaria”. In Bot. Mus. Leaf., Harvard Univ. 22: 333-343.
- BRUHN, J. G. and B. HOLMSTEDT. 1982. “Ethnopharmacology: objectives, principles, and perspectives”. In E. REINHARD and J. L. BEAL (eds.), *Natural Products as Medicinal Agents*, Hippocrates, Stuttgart: 405-430.
- DAVIS, E. W. and J. A. YOST. 1983. “The ethnobotany of the Waorani of eastern Ecuador”. In Bot. Mus. Leaf., Harvard Univ. 29: 159-218.
- DELTIEN, F. 1978-79. “Culture, drug and personality—a preliminary report about the results of a field research among the Yebamasa Indians of Río Piraparaná in the Colombian Comisaría del Vaupés”. In *Ethnomedizin* 5: 57-81.
- DER MARDEROSIAN, A. H., H. V. PINKLEY and M. F. DOBBINS. 1968. “Native use and occurrence of N, N—dimethyltryptamine in the leaves of *Banisteriopsis Rusbyana*”. In *Am. Journ. Pharm.* 140: 137-147.
- FRIES, R. E. 1959. “Annonaceae” in Engler-Prantl, *Die natürlichen Pflanzenfamilien* 2 Aufl., Bd. 17a, II, 1-172. Duncker-Humboldt Berlin.
- GENTRY, A. H. and K. COOK. 1984. “*Martinella* (Bignoniaceae): a widely used eye medicine of South America” *Journ. Ethnopharm.* 11: 337-343.
- GOTTLIEB, O. 1984. “Chemical studies on medicinal Myristicaceae from Amazonia”. In *Journ. Ethnopharm.* 1 (1979) 309-343. Personal comm.
- HOLMSTEDT, B. and J. G. BRUHN. 1983. “Ethnopharmacology—a challenge”. *Journ. Ethnopharm.* 8: 251-256.
- HOUGHTON, P. H. 1984. “Ethnopharmacology of some *Buddleja* species”. In: *Journ. Ethnopharm.* 11: 293-308.
- MCKENNA, D. J., G. H. N. Towers and F. Abbott. 1984. “Monoamine oxidase inhibitors in South American hallucinogenic plants: tryptamine and  $\beta$ -carboline constituents of ayahuasca”. In *Journ. Ethnopharm.* 10: 195-223.

- ORTIZ DE MONTELLANO B. 1975. "Empirical Aztec medicine". *In Science* 188: 215-220.
- PINKLEY, H. V. 1973. *The Ethnoecology of the Kofán*. Unpubl. Doctoral Thesis, Harvard University, Cambridge, Mass.
- PLOTKIN, M. J. ed. 1983. International Union for the Conservation of Nature, Ethnobotany Specialists Group *Newsletter*, no. 1 (May): 1-4.
- PLOWMAN, T. 1977. "*Brunfelsia* in ethnomedicine". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 25: 289-320.
- REICHEL-DOLMATOFF, G. 1978. *Beyond the Milky Way*. UCLA Latin American Centre Publications, Los Angeles, Cal.
- VON REIS, S. and F. J. LIPP, Jr. 1982. *New Plant Sources for Drugs and Foods from the New York Botanical Garden Herbarium*. Harvard Univ. Press. Cambridge, Mass.
- SCHULTES, R. E. 1975. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XIII. Notes on poisonous or medicinal malpighiaceae species of the Amazon". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 24: 121-131.
1942. "Plantae Colombianae II. Yoco, a stimulant of southern Colombia". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 10: 301-324.
1949. "Plantae Austro-Americanae V. De plantis principaliter Colombiae observationes". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 13: 264-285.
1954. "A new narcotic snuff from the northwest Amazon". *In Bot. Mus., Leaflet*, Harvard Univ. 16: 241-260.
1957. The identity of the malpighiaceae narcotics of South America. *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 18: 1-56.
1964. "Plantae Colombianae XVIII. De plantis regionis amazonicae notae". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 20: 317-324.
1967. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes I.". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 21: 265-287, t. 30.
1969. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes IV". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 22: 133-164.
1969. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes V. *Viola* as an orally administered hallucinogen". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 22: 229-240.
1970. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes VII. Several ethnotoxicological notes from the Colombian Amazon". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 22: 345-352.
1972. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes X. New data on the malpighiaceae narcotics of South America". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 23: 137-147.
1977. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XVI. Miscellaneous notes on biodynamic plants of South America". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 25: 109-130.
1978. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XXIII. Notes on biodynamic plants of aboriginal use in the northwestern Amazon". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 26: 177-197.
1979. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XIX. Biodynamic apocynaceous plants of the northwest Amazon". *In Journ. Ethnopharmacology* 1: 165-192.
1980. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XXVI. Ethnopharmacological notes on the flora of northwestern South America". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 28: 1-45.
- 1986a. "El desarrollo histórico de la identificación de las malpighiaceas empleadas como alucinógenos" *In América Indígena* 41, no. 1: 9-47.
- 1986b. "Recognition of variability in wild plants by Indians of the north west Amazon: an enigma" *In Journ. Ethnobiol.* 6: 229-238.
- et J. CUATRECASAS. 1972. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes IX. A new species of ichthyotic plant from the Amazon". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 23: 129-136.
- et N. R. FARNSWORTH. 1980. "Ethnomedical, botanical and phytochemical aspects of natural hallucinogens". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 28: 123-214.
- and A. HOFMANN. 1979. *Plants of the Gods: Origins of Hallucinogenic Use*. McGraw-Hill Book Co., New York.
- and . 1980. *The Botany and Chemistry of Hallucinogens*. Charles C. Thomas, Springfield, Ill. Ed. 2.
- and B. HOLMSTEDT. 1968. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes. II. The vegetal ingredients of the myristicaceous snuffs of the northwest Amazon" *In Rhodora* 70: 113-160.
- and . 1971. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes VIII. Miscellaneous notes on myristicaceous plants of South America". *In Lloydia* 34: 61-78.
- and T. SWAIN. 1976. "The Plant Kingdom: a virgin field for new biodynamic constituents". *In N. Fina [Ed.] The Recent Chemistry of Natural Products, Including Tobacco Philip Morris Science Symposium, 2nd... Proceedings*. New York: 133-171.
- and . 1977. "De plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XVII. *Viola* as an oral hallucinogen among the Boras of Peru". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 25: 259-272.
- and T. C. PLOWMAN. 1977. "De Plantis toxicariis e Mundo Novo tropicale commentationes XVII. *Viola* as an oral hallucinogen among the Boras of Peru". *In Bot. Mus. Leaflet*, Harvard Univ. 25: 259-272.

# EL SISTEMA NATURAL TERRESTRE

Por Jean L. F. Tricart\*

A partir de la mitad del siglo pasado, el desarrollo del pensamiento científico se caracteriza por una especialización que ha crecido muy rápidamente, perjudicando las visiones de conjunto, tales como aquellas de HUMBOLDT. Se torna cada vez más difícil ubicar en su marco tal o cual descubrimiento. Ora bien, el Hombre necesita visiones de conjunto, principalmente para el manejo de su ambiente geográfico y para lograr un mejor uso de recursos que se tornan rápidamente escasos frente al crecimiento demográfico. Un ejemplo: el Perú, país de ambientes ecológicos muy variados, era, treinta años atrás, un exportador neto de productos agropecuarios. Ahora, 30% de las calorías consumidas por su población son importadas. El cabal uso de los recursos naturales y su manejo racional requieren más que estudios pormenorizados y desmembrados: una visión de conjunto que analice las interacciones entre los diversos componentes del medio natural. Nos hace falta poder prever las consecuencias, a veces muu indirectas, de tal o cual medida, consecuencias que pueden ser muy negativas, cuando, a primera vista, aquella medida aparece aconsejable.

Las ciencias naturales, después de haber enfocado principalmente la sistemática se encaminaron a la biología. En 1934 y 1936, cincuenta años atrás, el inglés TANSLEY ha sistematizado las ideas de la época y propuesto a los científicos el concepto de **ecosistema**. Este concepto enfoca las relaciones mutuas entre los diversos seres vivos y entre ellos y su ambiente. Desgraciadamente, por su formación especializada, los naturalistas han investigado mucho más las relaciones entre los seres vivos que las relaciones de estos seres con su ambiente (cadenas alimenticias, fitosociología que ciertos investigadores quieren considerar como la propia ecología). Bajo la influencia de los requerimientos de programas de ordenamiento agrícola, principal-

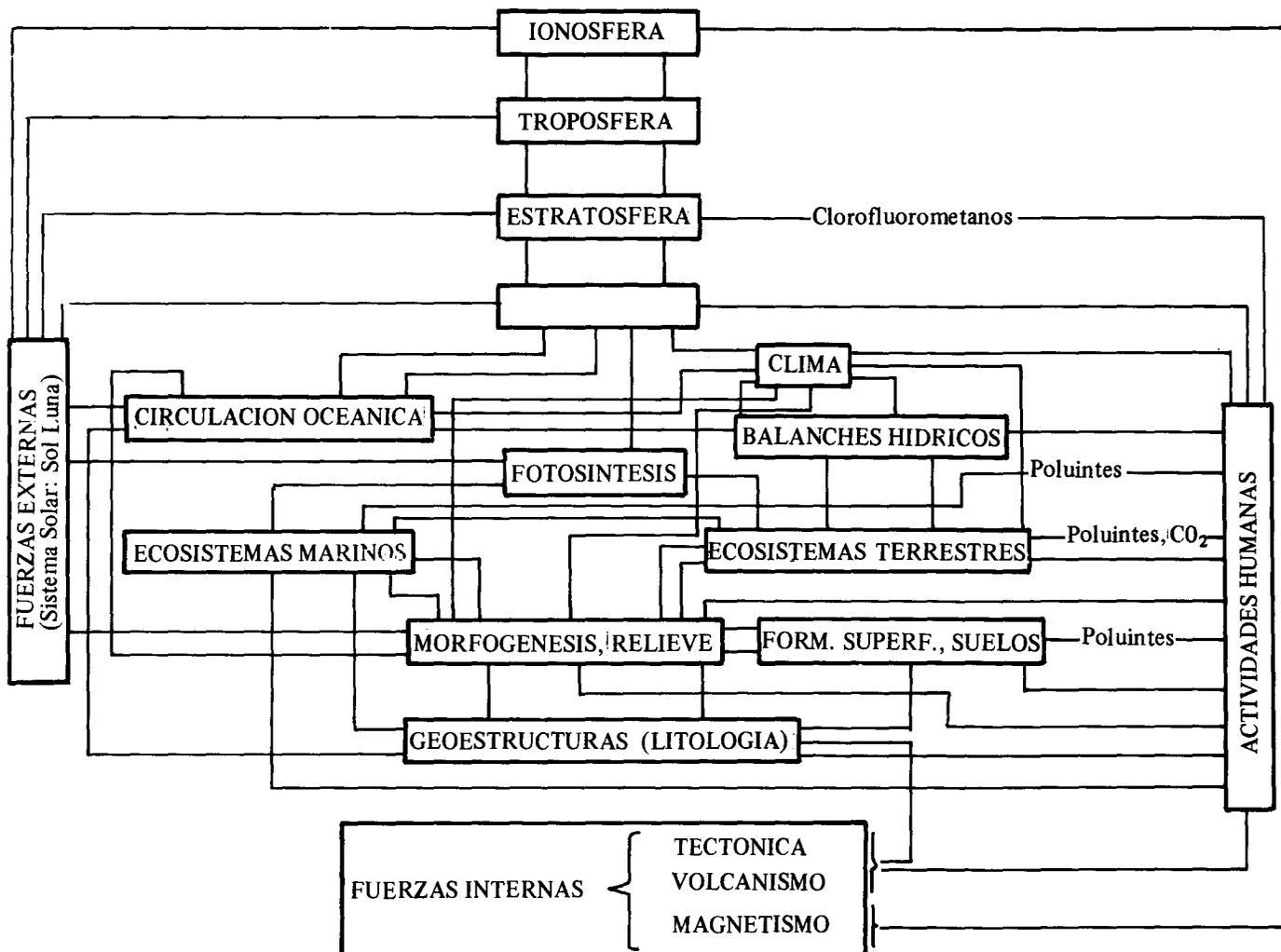
mente en Africa Occidental, en Venezuela, en Argentina, he tenido que dedicar mucha atención al estudio del ambiente ecológico no sólo sus características actuales, sino su evolución durante el pasado y las herencias dejadas por ella y contradictorias con las condiciones actuales. Es el fruto de aquella experiencia y de su profundización metodológica que quisiera dedicar a la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, como homenaje por el gran honor que ella me ha concedido, escogiéndome como miembro extranjero suyo.

## I. LOS TRES POLOS DEL SISTEMA NATURAL TERRESTRE

Desde el origen, cuando se individualizaron los planetas, cada uno de ellos, incluyendo la tierra, era sometido a la interferencia dialéctica de dos grandes conjuntos de fuerzas: las fuerzas externas, es decir de aquellas fuerzas radicadas al exterior del planeta, y las fuerzas internas, que actúan dentro del planeta mismo. Esta situación se ha tornado más compleja durante los últimos tiempos, unos pocos milenios, en contraste con la individualización de la Tierra que se ha realizado hace alrededor de 4.600.000.000 de años. Este hecho nuevo es el desarrollo tecnológico del Hombre. Sus primeros brotes ocurrieron durante el Neolítico cuando la agricultura y la caza empezaron a desempeñarse. Las primeras variedades cultivadas de maíz (*Zea*) aparecieron en México hace algunos 7.000 años. Este tiempo es apenas la 1/657.000<sup>o</sup> parte de la vida de nuestra Tierra. Pero, la característica del desarrollo tecnológico es su aceleración de tipo exponencial, tipo este que caracteriza también al desarrollo de la Vida sobre nuestro Globo (crecimiento de la cantidad de especies, y, probablemente, también de individuos). A pesar de su reciente aparición, este tercer polo ya ha ganado una importancia de ninguna forma despreciable.

Sobre el organigrama, he dispuesto cada uno de los tres polos en lados diferentes. Hubiera sido más

\* Centre de Géographie Appliquée. Université Louis-Pasteur, Strasbourg.



lógico dibujar el conjunto en forma de triángulo, pero habrían surgido complicaciones materiales. La disposición rectangular se adoptó por mayor comodidad.

Las **FUERZAS EXTERNAS** consisten de dos elementos muy desiguales:

—La **radiación solar**, cuyo papel es muy predominante. Dicha radiación suministra la energía que permite el desarrollo de la vida sobre la Tierra, por intermedio del proceso de la fotosíntesis. Las plantas elaboran, con aquella energía, tejidos que consisten de carbono hidratado a partir del agua y de los minerales de los suelos. Se llaman productores primarios por esta razón. Otras plantas y, sobre todo, los animales, entre ellos el Hombre, son incapaces de fotosintetizar y, por lo tanto deben sustentarse con las células de las plantas. La planta, productor primario, es el punto de partida de la cadena alimentaria, otra expresión equivalente, la base de la pirámide trófica. Todas las flechas del organigrama que salen de la “caja negra” “fuerzas externas” y que llegan a “ionosfera”, “troposfera”, “estratosfera”, “atmósfera” y “fotosíntesis” materializan flujos de la energía radiante

del Sol. En la ionosfera llegan las partículas del “viento solar”, corpúsculos con una energía enorme y, por eso, muy peligrosos para los tejidos celulares, que ellos pueden destruir. El impacto de aquellos corpúsculos con las moléculas de los gases atmosféricos, muy diluidas en el espacio, produce isótopos, entre los cuales  $^{18}O$  y  $^{14}C$  son los más conocidos por aprovecharse para calcular edades y/o temperaturas. Sólo una pequeña parte del flujo de corpúsculos generado por el sol llega hasta la parte externa extrema de la atmósfera terrestre. Los desvían los anillos de Van Allen, producidos por el magnetismo terrestre, expresado gráficamente por la flecha que sale a la derecha de la parte baja del rectángulo “Fuerzas Internas” para llegar a “ionósfera”.

El resto de la radiación solar, la componen integrantes del espectro electromagnético, es decir ondas de diferentes longitudes (o frecuencias): el infrarrojo térmico, que transmite calor y calienta la atmósfera, el “visible”, es decir la luz, aprovechada por la fotosíntesis; el ultravioleta, por fin, cuyas ondas son más cortas que aquellas del visible y que son, además, peligrosas para los tejidos

que queman. El ozono, en la estratosfera impide el paso de la mayor parte del UV hacia abajo, hacia la superficie terrestre.

—La otra forma de energía suministrada por el sistema solar es la fuerza de atracción, proporcionada con la masa del cuerpo e inversa de la distancia. El Sol, enorme pero muy alejado, no ejerce una atracción sobre la Tierra que sobrepase en mucho aquella de la Luna, muy pequeña en proporción, pero mucho más cercana. Ambas atracciones se combinan para mover el agua en forma de mareas. Este fenómeno participa en la formación del relieve litoral. Por lo tanto, se ha dibujado una flecha que sale de “Fuerzas Externas” y llega a “Morfogénesis, Relieve”. Es claro que la influencia morfogenética de las mareas es poca cosa frente a las manifestaciones de la radiación solar... Por otra parte, la atracción cósmica no se limita al agua, afecta también la corteza terrestre a la cual imprime pequeñas deformaciones conocidas bajo el nombre de “mareas terrestres”. Se trata también de un pormenor frente a la actividad radiante del Sol. Por fin, para satisfacer un escrúpulo de precisión, debemos incluir las caídas de meteoritos, incluyendo cometas, sobre nuestro globo. En los primeros tiempos de su existencia, han desempeñado un papel importante en la formación de la corteza terrestre (acreción) y de la atmósfera (C de las condritas, H<sub>2</sub>O de los cometas). El bombardeo ha disminuido drásticamente desde estos tiempos, sin embargo, de vez en cuando un impacto de meteorito participa en la elaboración del relieve terrestre bajo la forma de un astroblema. Si hubiera caído el meteorito de la Tunguska (1910) en un área más densamente poblada, el impacto hubiera desencadenado una catástrofe trágica. Algunos científicos atribuyen a la caída de un meteorito grande la extinción de los Dinosaurios al finalizar el del Cretáceo (65.000.000 de años).

Las FUERZAS INTERNAS tienen su raíz en la energía constituida por la materia que forma el Globo Terrestre. Aquella materia ha empezado luego durante el Proterozoico un proceso de diferenciación y, a menudo, una evolución que consiste en una reorganización molecular, produciendo calor. Estos mecanismos han generado el magnetismo, la evolución tectónica del Globo y el volcanismo, estrechamente vinculado con ella.

—El magnetismo sería una consecuencia de la diferenciación de la parte sólida de la Tierra en un núcleo, un manto y una corteza, posiblemente desde hace ya 3.000.000.000 de años. La teoría comúnmente aceptada por los geofísicos admite un Núcleo de densidad más elevada que el Manto, de tal forma que la rotación de la Tierra alrededor del eje polar provoca diferencias de velocidad angular entre ambos. La disposición se asemeja a aquella de una dinamo, produciendo el campo magnético terrestre. Obviamente se produce una pérdida de energía por fricción, cuya consecuencia sería una disminución paulatina de la velocidad de rotación de la Tierra, traduciéndose por un alargamiento de los días y noches al transcurrir los tiempos geológi-

cos. Ya hemos señalado el efecto del magnetismo terrestre, con los anillos de Van Allen y la protección por ellos brindada contra el viento solar. Los cambios de posición respectiva de los Polos Magnéticos con el tiempo han sido lo suficientemente numerosos y marcados para suministrar un registro cronológico (*Epocas*, cada una con una posición de los polos sea del tipo actual llamada “normal” o contraria, llamada “inversa”, y *Acontecimientos*, de duración más reducida). El paleomagnetismo nos brinda una cronología, que ha sido ajustada con la sucesión paleontológica tradicional y las geocronologías isotópicas. Por otra parte, el paso de un polo magnético al otro hemisferio (inversión del campo magnético), ha provocado necesariamente una anulación del campo magnético. Ignoramos por completo, la fecha y cuál ha podido ser la duración de tales anulaciones: ¿segundos, años, siglos, milenios? Es probable que estas duraciones han sido bastante diversas. Pero, algunas de ellas, de duración suficiente, han provocado una interrupción de la protección de la superficie terrestre contra el viento solar. Ciertos autores norteamericanos atribuyen a ellas la desaparición de especies de microorganismos marinos (Foraminíferos, Diatomeas, etc...), y/o mutaciones bruscas. A la fecha sólo se han podido establecer coincidencias... pero el problema es digno de llamar la atención. Podría incluirse en el organigrama dibujando flechas que ligen “magnetismo” a “ecosistemas”, tanto “marinos” como “terrestres”.

—Tectónica y volcanismo están íntimamente ligados entre sí. Ambos provienen de la diferenciación de la materia del globo terrestre en una corteza superior y otra inferior. A. WEGENER, el bien conocido geofísico austriaco ha propuesto, ya hace 2/3 de siglo, una hipótesis según la cual los continentes, formados de Sial, flotaban sobre una capa de Sima y se desplazaban alrededor del Globo, África habiéndose separado de América del Sur y el Gondwana habiéndose partido en pedazos originó: India Peninsular, Australia, Antártida, Escudo Brasileño. La idea se ha modernizado bajo la forma de la teoría de placas. Las placas continentales, las forman rocas granitoides, rígidas. En el fondo de los océanos, yacen rocas basálticas que se derraman sobre el piso marino por las aberturas de los “rifts” medio-oceánicos. Las dataciones por el paleomagnetismo constituyen el más fuerte argumento en favor de la tectónica de placas: los basaltos derramados de ambos lados de los rifts son de edad cada vez más antigua cuanto más lejos se ubican del eje del “fift”. Cuando una placa colida con otra y la recubre, se produce una subducción. El fenómeno funciona desde Alaska hasta Tierra del Fuego, diversas placas del lado americano cabalgan sobre placas del Pacífico las cuales se hundén, por subducción, debajo de ellas. A lo largo de los cinturones de subducción, se ubican zonas de alta sismicidad profunda (alrededor de 80 Km) y alineamientos de volcanes activos (“Cintura de Fuego del Pacífico”). Tectónica y volcanismo están íntimamente ligados entre sí. Su asociación determina las geoestructuras, ca-

racterizadas no solamente por los movimientos de la corteza y sus deformaciones sucesivas, sino más bien por los tipos de rocas que las constituyen (cratones granitogneisicos, geosinclinales, plataformas con sedimentos de débil profundidad, acumulaciones volcánicas de diversos tipos): por eso, en la misma caja negra he asociado "Geoestructuras (Litología)". Una flecha indica que se trata de un producto de las Fuerzas Internas.

Las **ACTIVIDADES HUMANAS** son parte de otro sistema, el sistema humano, cultural, social y económico. Consideraré sólo una parte de ello, la parte tecnológica. El hombre no es el único animal que artificialice su ambiente para tornarlo más favorable a su existencia. Ciertos insectos, todos con organización social, lo hacen también: las termitas han acondicionado el aire mucho antes del Hombre, para criar sus descendientes y, en muchos casos, cultivar levaduras y hongos microscópicos para su alimentación. Las avispas edifican también sus nidos. Entre los mamíferos, los castores realizan obras hidráulicas, con represas y control del nivel del agua como sistema de defensa de sus viviendas. Pero el hombre va mucho más allá en materia de artificialización, en parte tan lejos que es inconsciente de las consecuencias que puede desencadenar. Las relaciones del Hombre con el ambiente natural son de dos tipos, uno y otro pintado con flechas de dirección contraria. Las flechas que se dirigen desde una cajita cualquiera hasta el rectángulo "Actividades Humanas" especifican una influencia del ambiente natural sobre las actividades del Hombre. Las que se orientan en dirección contraria indican influencias antrópicas sobre el ambiente.

—**Influencias del ambiente sobre las actividades humanas:** incluyen recursos por un lado, limitaciones por el otro:

- La tectónica expone al hombre a los sismos, frecuentemente destructivos. Las erupciones volcánicas provocan también daños y víctimas, pero, a veces, enriquecen el suelo (cenizas que brindan minerales "juveniles", aptos para liberar nutrientes).
- Las geoestructuras y el material que las integra contienen yacimientos de minerales, desde el oro, hasta los hidrocarburos, sin menospreciar el hierro, los materiales de construcción, etc...
- Lo mismo ocurre con las formaciones superficiales, en las cuales se excava frecuentemente para anclar las fundaciones de los edificios, o para edificar vías de comunicación, extraer agua, etc... Los suelos son un elemento clave en todas las actividades agro-silvo-pastorales.
- De los ecosistemas marinos y terrestres, el hombre extrae alimentos y materias primas. Los artificializa, principalmente los terrestres, transformándolos en campos de cultivo, en pastizales, en bosques plantados.
- El relieve suministra numerosas limitaciones a las actividades humanas: Colombia, con sus sierras,

sus fuertes desnivelaciones, sus pendientes empinadas, ofrece ejemplos muy gráficos de ellas.

- El clima, por fin, es un integrante del ambiente que debe tomarse en consideración para la vivienda, para los vestidos, para la organización de la vida y, naturalmente, para toda actividad productiva rural.

—Las alteraciones ambientales provocadas por las actividades humanas no tienen menos importancia. Empiezan ellas desde luego en el nivel más alto de la atmósfera y actúan hasta sobre los procesos morfológicos.

- En la estratosfera, llegan las moléculas de clorofluorometanos, principalmente los productos usados para la fabricación de "bombas", insecticidas, desodorizantes, etc... Estas moléculas se combinan con el ozono y lo destruyen, eliminando paulatinamente su papel irremplazable de protección contra la peligrosa radiación ultra-violeta.

- En la atmósfera las emisiones de origen antrópico son mucho más abundantes y diversas. El humo y el polvo fino que se lleva el viento desde las superficies desnudadas forman aerosoles que pueden servir de núcleos de condensación, tornando las precipitaciones más intensas y violentas. Varios cuerpos químicos forman aerosoles, tornando la niebla nociva (el "smog" inglés). Los varios óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) emitidos por los coches y ciertas fábricas, son un veneno. El gas carbónico lo generan también, las fábricas, los medios de transporte y de calefacción, las plantas térmicas de electricidad. El gas sulfúrico es, también, muy peligroso. Todos estos cuerpos dificultan la penetración de la luz solar a través de la atmósfera, y, por consecuencia, perjudican la fotosíntesis, es decir la producción vegetal (flecha atmósfera → fotosíntesis), además de afectar gravemente la salud pública.

- Modificando la cubierta vegetal y extrayendo agua, el hombre altera los balances hídricos (infiltración del agua lluvia en el suelo, evaporación, transpiración vegetal) y, lógicamente, las reservas de agua disponibles para la vida vegetal en el suelo.

- Por otra parte, echa el hombre toda clase de desperdicios y de basura en el campo y en los ríos. El agua los lleva a veces hasta los acuíferos, que se contaminan. Lo mismo pasa con los suelos y con los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos, incluso marinos. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  cuya concentración atmosférica se incrementó en el 33% desde hace un siglo, afecta el metabolismo de las plantas.

- Por fin, ciertas obras de ingeniería, pero más aún el uso agropecuario de las tierras altera la morfodinámica. Más del 90% del material que llevan los ríos al mar resulta de la destrucción de la cubierta vegetal y de malas prácticas de cultivo y de pastoreo.

Después de enumerar los principales "entrantes" en el sistema natural, vamos a examinar el funcionamiento interno de este sistema.

## II. FUNCIONAMIENTO INTERNO DEL SISTEMA NATURAL TERRESTRE

El sistema natural terrestre puede considerarse como la interfase entre la parte sólida del Globo mas sus envolturas hídricas que cubren 70% de su superficie, y la parte gaseosa, o atmósfera, omnipresente. Como todo interfase, aquella se caracteriza por fenómenos específicos, entre los cuales el de mayor importancia es la vida, llamada "biosfera" para enfocarla como conjunto. Esta interfase es sometida a las acciones antagónicas de las fuerzas internas y externas. Ella abriga al hombre, como participante en la biosfera. Es también en ella que se desempeñan las relaciones conflictivas Hombre-Medio Ambiente.

Los dos elementos integrantes de la interfase son la envoltura gaseosa y la superficie de la litosfera (parte sólida del Globo).

—La **envoltura gaseosa** consiste de 4 niveles escalonados, caracterizados por una densidad decreciente de la materia. La mayor tenuidad se encuentra en la ionosfera, cuya definición se ha recordado más arriba. La troposfera no desempeña un papel muy específico en el sistema ambiental. Pero, sí es el caso de la estratosfera, con el ozono. Entre los 4 pisos de la envoltura gaseosa, existen intercambios permanentes de materia, principalmente gaseosa: así pueden llegar hasta la superficie terrestre los isótopos de C y de O que se incorporan en el cuerpo de los seres vivos. Estos gases, calentándose, permiten también intercambios de energía. La troposfera, por ejemplo, llega a temperaturas muy altas, pasando los 100°C. Una parte importante de la energía radiante del Sol, la absorbe la envoltura gaseosa del Globo, lo que debe tomarse en cuenta tanto cuando se estudia la productividad metabólica de los productores primarios como cuando se estudia el ambiente terrestre por le medio de los sensores remotos (transmisividad atmosférica, ventanas que dejan pasar las ondas pero que coinciden con longitudes de ondas bien definidas, en función de la absorción: el vapor de agua, alrededor de 1,5  $\mu\text{m}$ , el gas carbónico entre 2 y 3,5  $\mu\text{m}$  y entre 5/6 y 8  $\mu\text{m}$  y más allá de 14  $\mu\text{m}$ ).

La energía de radiación solar absorbida por la atmósfera se traduce en diferencias de temperatura y, en consecuencia, de densidad de las masas de aire. Es lo que provoca la circulación atmosférica. El resultado es una diferenciación geográfica de la superficie terrestre. Ella resulta en primer lugar de un fenómeno astronómico: la combinación del movimiento de la Tierra a lo largo de su órbita y de su propia rotación alrededor del eje de los polos, inclinado sobre el plano de la órbita. De ahí proceden los círculos polares, los trópicos y el ecuador; es decir, líneas astronómicas que definen una zonalidad. Pero, la superficie terrestre no es homogénea, todo lo contrario: ofrece una fuerte anisotropía. El relieve, comenzando por la orientación de una vertiente hasta una cadena montañosa como la del Himalaya o la de los Andes, influye

sobre la radiación solar y, cuando se trata de relieves extensos, sobre la circulación atmosférica. Lo indica la flecha que sale de "Morfogénesis, Relieve" y llega a "Clima". Pero, la mayor anisotropía de la superficie, la encontramos en las grandes superficies acuáticas de los océanos y mares, que cubre el 70% del total, en cifras redondas. El albedo del agua es distinto del de la tierra. No existe cubierta vegetal sobre los océanos. Las características térmicas del agua son bien distintas de aquellas de la litósfera; principalmente, del agua es el calor específico más alto. Se calienta despacio, almacena muchas calorías, y se enfría despacio. Además, el agua es un fluido, lo que permite la formación de corrientes tanto superficiales como verticales, de convección, acompañadas del transporte de cantidad enorme de energía. Los océanos desempeñan papel de suma importancia sobre la parte baja de la atmósfera y, en consecuencia, sobre el clima. Basta recordar el ascenso de aguas profundas frías de la corriente de Humboldt, procedentes de la Antártica. La flecha "Circulación oceánica" → "clima" es de mayor importancia.

La **circulación oceánica** resulta, originalmente, de la zonalidad de la irradiación solar, como lo indica la flecha que llega directamente de "fuerzas Externas" a "Circulación oceánica". Indirectamente, intervienen las interacciones con la atmósfera señalada por medio de las dos flechas de dirección contraria que unen ambas cajitas negras. Las variaciones de presión atmosférica provocan cambios de altitud de la superficie marina. Los vientos fuertes empujan el agua, a veces de manera catastrófica como en el caso de los huracanes tropicales, o de fuertes tempestades de las latitudes templadas, como cuando se rompieron los diques de los pólderes holandeses en la post-guerra. Pero, en realidad estas acciones de la atmósfera sobre la circulación oceánica son de menor importancia que la acción de la circulación oceánica sobre la atmósfera.

En el caso de la circulación oceánica, debemos considerar también la anisotropía del globo terrestre. La configuración de las cubetas oceánicas, de los litorales, de los umbrales submarinos, canalizan la circulación de las grandes masas acuáticas. Por ejemplo, la corriente del Golfo estaba bloqueada por el largo umbral que une Islandia a los Shetland durante la regresión generada por la última glaciación. Esto ocasionó que el enfriamiento del Atlántico Nororiental fuera excesivo en comparación de aquel del Atlántico subtropical, a los 30° de latitud. Ora bien, aquella topografía oceánica es la consecuencia de la tectónica del Globo, de las geoestructuras, como lo indica una flecha del organigrama. Otra flecha enfoca también la influencia directa del relieve sobre la misma circulación oceánica. En efecto, el relieve submarino no es necesariamente la única consecuencia directa de las geoestructuras: Los procesos morfogénicos han podido intervenir sobre las geoestructuras. Las regresiones de los períodos glaciares (glacio-eustatismo) en particular, por haber cambiado el nivel general de los

océanos, han desempeñado un papel importante, del cual el Atlántico Nororiental no es más que un ejemplo. Estas glaciaciones son un elemento morfogénico y no un rasgo geoestructural.

El otro componente de la interfase es la litósfera. Tomaremos esta palabra en el sentido de los geólogos y no en aquel de los geofísicos, es decir "la parte sólida superficial del Globo terrestre", sin tomar en consideración las diferencias entre la corteza y el manto. Las geoestructuras se caracterizan por su material rocoso (litología), por la disposición de este material, resultado acumulativo de todas las deformaciones tectónicas por él sufridas a lo largo de los tiempos geológicos, y por los movimientos tectónicos contemporáneos.

Pero, la morfogénesis influye también por su parte sobre las geoestructuras. Es una retroacción. De acuerdo con el concepto del isostatismo, un compartimento que se alza y que, por esta razón es más intensamente disectado, pierde materia y, por consecuencia, disminuye su masa, lo que desencadena a su vez una tendencia al levantamiento. La retroacción geomórfica tiene tendencia a acentuar el movimiento positivo inicial. Es una retroacción positiva. Lo mismo acontece con las unidades con tectónica negativa, es decir, que se hunden. Ellas reciben toda clase de detritos oriundos de sus márgenes lo que provoca una sobrecarga que mantiene y aumenta la tendencia al hundimiento. Este tipo de fenómenos lo indican las dos flechas, en dirección opuesta, que unen las cajas negras "Geoestructuras" y "Morfogénesis".

Esto representa el lado "interior" de la interfase. Del lado "exterior" lo encontramos con los diversos procesos que modelan el relieve. Ellos están por una buena parte, vinculados con el clima, ya sea directa, o indirectamente. La vinculación directa la encontramos, por ejemplo, en las glaciaciones nivósos y en descensos de la temperatura. Pero no predomina. Más frecuentes y de mayor peso son las vinculaciones indirectas que pasan a través de los ecosistemas, con sus biocenosis (antes que todo, la vegetación) y sus suelos y formaciones superficiales, como lo indican las flechas: una se dirige de "clima" a "morfogénesis" (vinculación directa), otras de "clima" a "ecosistemas terrestres" y de "ecosistemas terrestres" a "formaciones superficiales, suelos" y de esta cajita a "morfogénesis". Desde hace años, hemos insistido sobre estas vinculaciones que forman el aspecto de la geomorfología llamado, por comodidad, "geomorfología climática". Este punto de vista integra la geomorfología en el ecosistema para mutuo beneficio. Es todo lo contrario de la posición de W.M. DAVIS. Este maestro, que dibujaba maravillosamente, nunca ha colocado ni siquiera la planta más pequeña sobre sus esquemas: su geomorfología "normal", a pesar de ser aquella de las regiones templadas húmedas, sólo pinta paisajes desérticos.

La morfogénesis consiste en flujos de materia, procedentes de las rocas. Estos flujos se llevan detri-

tos de rocas desde las áreas más altas hasta otras, más bajas. El agua corriente es el principal agente transportador, pero el hielo de los glaciares y el viento intervienen también, a menudo en ciertas regiones climáticas. Los flujos consisten de partículas de diversos tamaños: bloques, guijarros, arena, limos, arcilla y iones. El arrastre se realiza según los casos como carga de fondo, en suspensión o en solución. Estos flujos interfieren con los ecosistemas. Cuando son violentos y masivos, constituyen un factor ecológico limitante. En los ecosistemas terrestres, la inestabilidad del hábitat hace que predominen las especies pioneras sin que aparezcan comunidades más evolucionadas. Es lo que puede observarse, por ejemplo, sobre los bancos aluviales frecuentemente retrabajados de los ríos o en áreas de cárcavas vivas. En las regiones tropicales, cuando hay un suministro excesivo de materia en suspensión, los corales no logran crecer. Pero, por otra parte, los iones disueltos y algunas partículas en suspensión, sirven como nutrientes tanto en las llanuras inundables como en los estuarios, deltas y franjas litorales. Lo indican las flechas que salen de "morfogénesis" y llegan a "ecosistemas terrestres" y "ecosistemas marinos". La vinculación de dirección contraria evoca la influencia de las biocenosis sobre la morfogénesis: fenómenos tales como la edificación de atolones y barreras por los madréporos, la fijación del lodo por el manglar, el efecto protector de la cubierta vegetal, principalmente del estrato herbáceo (fitostasia), etc...

Existe una vinculación muy estrecha entre la morfogénesis y las formaciones superficiales. W. PENCK la ha enfocado con la expresión "formaciones correlativas" propuesta por él mismo. Frecuentemente, son las formaciones superficiales que nos permiten deducir la acción pasada de tal o tal proceso. Por ejemplo, desde fines del siglo XVIII, B. de SAUSSURE ha reconocido la extensión anterior de los glaciares en Saboya por la identificación de morenas. Podríamos traducir el dicho "No hay humo si no hay fuego" por "no hay morenas sin que haya glaciares". Por otra parte, ciertas formaciones superficiales son el resultado de la modificación de la roca *in situ* al contacto de la atmósfera (procesos de meteorización): como la fragmentación por las alternancias hielo-deshielo, por la hidratación, la expansión y retracción por cambios de temperatura, etc... Más importantes aún son los efectos indirectos, influenciados por los seres vivos: excavación de galerías y ablandamiento de la tierra por los insectos, los roedores y otros animales y, sobre todo, los efectos químicos (alteración) que resultan de la penetración hasta la roca de soluciones con gas carbónico, ácidos orgánicos generados por la descomposición de la materia orgánica, principalmente vegetal, de los suelos.

Alteración y meteorización, frecuentemente combinadas entre sí, son el primer paso de la morfogénesis, o fase preliminar. Por lo general transforman rocas coherentes en partículas lo su-

ficientemente pequeñas para que las lleven los procesos de arrastre. Es bien claro que estos procesos son diferentes de una roca a otra: lo indica la flecha que va de "Geoestructuras" (litología) a "formaciones" superficiales (en este caso, es la "litología" que la que está es involucrada). Aquellos procesos, los influencia también el clima, pero para no sobrecargar el organigrama, no hemos dibujado la flecha correspondiente.

Las relaciones entre la morfogénesis y los suelos son, también, numerosas y de naturaleza grande. Por lo general, los suelos se forman a partir de formaciones superficiales y no de la roca *in situ*. Pero existen otras vinculaciones más. En 1965, he elaborado el concepto de **balance morfogénesis / pedogénesis**. Si no se altera la topografía superficial, su estabilidad permite el desarrollo de los suelos que corresponden a las características del área. La pedogénesis funciona. Pero por otro lado, la estabilidad topográfica indica que no hay morfogénesis. El balance se torna completamente en favor de la pedogénesis. Al contrario, si hay flujos detríticos importantes, que modifican rápidamente la topografía, los suelos no tienen tiempo desarrollarse tanto en los sitios desde los cuales salen los detritos, como en aquellos donde se acumulan. Tal es el caso de las cárcavas activas. Por lo general, además, las áreas donde la morfogénesis es intensa están también mal protegidas por la vegetación. Una vegetación muy abierta suministra pocos detritos vegetales, lo que es desfavorable para la pedogénesis. El balance, en este caso, se torna más en favor de la morfogénesis. Preocupación constante de la civilización incaica, era detener la tierra sobre las vertientes, edificando andenes. Usando nuestro vocabulario, diremos que los campesinos incaicos, con los andenes, buscaban una estabilización topográfica de las pendientes para conservar el suelo. Ellos invertían el balance morfogénesis/pedogénesis en favor de la pedogénesis.

Los **balances hídricos** son otro componente importante del ambiente terrestre. En la mayor parte de los casos, y no sólo en las regiones secas, es la cantidad de agua disponible lo que determina el crecimiento de los vegetales y, por consecuencia, el rendimiento de los cultivos. Si no hay agua suficiente, la planta se marchita y, después, se muere. Pero, antes de marchitarse, detiene la elaboración de células, es decir su crecimiento. El balance hídrico es función del agua del suelo, y, por otro lado, de sus pérdidas (infiltración más profunda, evaporación, extracción por las raíces...). La alimentación, la realizan las lluvias o inundaciones. La evaporación es también función del clima (viento, humedad relativa, temperatura). Pero, por la evaporación, el suelo devuelve agua, bajo la forma de vapor, a la atmósfera y, así, influye sobre el clima. Las flechas que unen las dos cajitas lo indican. Pero, la infiltración del agua en el suelo y su almacenamiento, los rigen las características del propio suelo (velocidad de filtración, capacidad de reten-

ción). La granulometría del material y la disposición de las partículas que lo componen son los más importantes factores de los cuales depende el balance hídrico. Para más claridad, el organigrama representa por flechas sólo las vinculaciones entre el balance hídrico y el clima, por un lado, y con los ecosistemas, por el otro. No se dibujaron flechas entre ese balance y las formaciones superficiales-suelos y la morfogénesis a pesar de que existen.

#### Por fin, los ecosistemas.

El caso de los ecosistemas marinos es más simple. Ellos dependen de la circulación oceánica que rige la temperatura y las características físicas y químicas del agua de un lado, de las posibilidades de fotosíntesis, que son función de la radiación solar y de la turbidez del agua (penetración de la radiación) y, por fin, de una manera menos determinante, de los aportes de nutrientes que llegan de las tierras vecinas.

Otras inter-relaciones más entran en juego en el caso de los ecosistemas terrestres: el relieve, como factor de diferenciación climática, la morfogénesis, como factor limitante (concepto de estabilidad topográfica), las formaciones superficiales y suelos, las posibilidades de fotosíntesis, los balances hídricos y el clima (directamente). Todos son integrantes del ambiente ecológico, lo que se llama el biotopo. Desgraciadamente, los biólogos, que, generalmente, no han sido formados en geografía física, han descuidado por completo el estudio de los biotopos. La palabra, en sí misma, es significativa, como "toposecuencia" en edafología. "Topos", en griego significa "lugar". Su sentido es descriptivo, adecuado para algo que no cambia. Un mapa topográfico es una imagen del área. El biotopo no tiene contenido dinámico. Es un empobrecimiento. En realidad, existen múltiples inter-relaciones entre las dinámicas de las biocenosis y las del ambiente. Un ambiente donde la morfodinámica es intensa, topo-inestable, perjudica la evolución de las comunidades vegetales. Por ejemplo, en las selvas ombrofilas de la falda amazónica de los Andes, numerosos son los movimientos de remoción en masa. Ellos limpian por completo la selva y desnudan el subsuelo, las formaciones de alteración, a veces la roca *in situ*, a decenas de metros de profundidad. Abren claros en la selva. Los colonizan especies pioneras, que requieren mucha luz. En las latitudes ecuatoriales, todavía pueden identificarse los antiguos derrumbes durante unos 40-50 años. Es sólo después de este tiempo que se ha reconstituido un bosque cuya fisonomía se asemeja lo suficiente a la selva ombrófila y no puede identificarse sobre la aerofotografía. Este proceso, de "régimen permanente" como dirían los físicos, mantiene una diversidad específica en el bosque que aumenta su homeostasia, es decir su capacidad de mantenerse por ejemplo en el caso de deforestación o de cambios climáticos como se han registrado en Amazonia.

Estudiar las inter-relaciones entre las biocenosis y la dinámica ambiental, la **ecodinámica**, es un

tema de investigación prometedor. No sólo nos permitirá lograr el pleno desarrollo de la ecología en vez de limitarnos a una ciencia truncada; pero, lo que es más importante ello nos permitirá lograr el uso más racional de los recursos naturales, a través

del manejo no destructivo y del ordenamiento que pueda aumentarlos. La rápida expansión demográfica en el mundo, la permanencia de la pobreza, la acentuación de la desigualdad entre los hombres tornan de suma urgencia tal orientación científica.

# CARACTERISTICAS DE LA INSOLACION (Brillo solar) EN LA CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR

Por *Jesús Eslava R.\**

## RESUMEN

A pesar de que la insolación es el elemento climático fundamental, sólo muy recientemente se le reconoció esa importancia científica y técnica al desarrollarse diferentes métodos para la transformación de la energía solar en otros tipos de energía aprovechables por la humanidad.

En este trabajo se analiza la información disponible sobre la duración de la Insolación y se determina su distribución espacial y temporal en la cuenca hidrográfica del Cauca Superior y, colateralmente y de forma adicional en sus alrededores. Así mismo, se formulan modelos matemáticos que muestran las leyes naturales de variación espacial y temporal de la insolación y permiten determinar sus valores medios para cualquier sitio con la sola condición de conocer su ubicación geográfica y su altitud.

## 1. INTRODUCCION

Las necesidades inherentes al desarrollo del país imponen profundizar o, en la mayor parte de los casos, iniciar el análisis del régimen normal de los diferentes e innumerables elementos climáticos básicos y/o sintéticos. El primero en orden de importancia es, sin duda, la radiación solar y más concretamente la parte de esa energía que logra penetrar en el sistema tierra-atmósfera y moverla.

Utilizar la energía del sol, para transformarla con mecanismos diseñados por el hombre, constituye sólo parte final del problema, puesto que todos los mecanismos están totalmente condicionados a la contingencia o intermitencia de la luz solar. Por tal razón, la utilización eficiente de la energía solar está supeditada a la medición y análisis de la distribución y duración espacial y temporal de la insolación.

En el presente estudio se intenta determinar, por primera vez en Colombia y específicamente

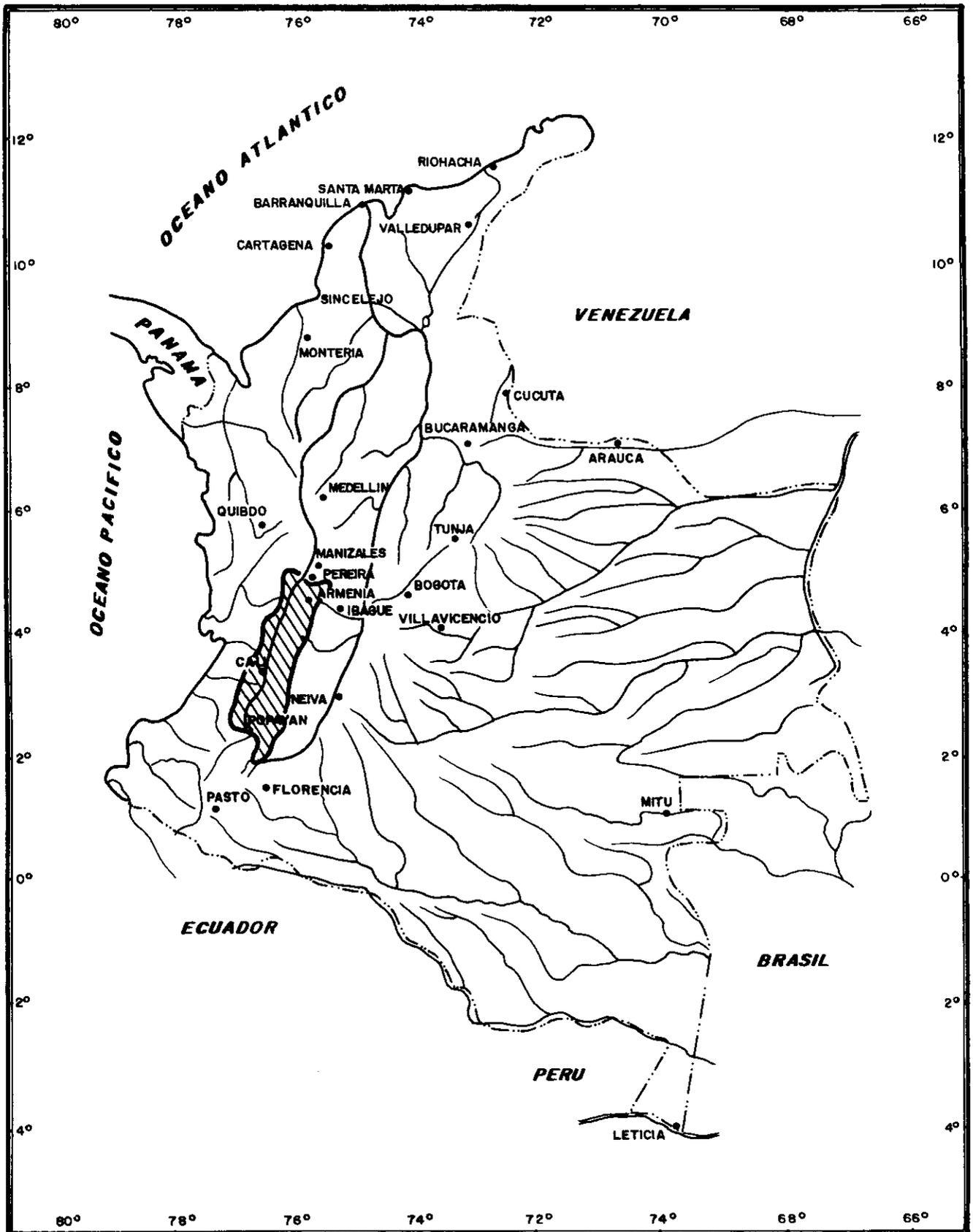
para la cuenca hidrográfica del Cauca Superior y sus alrededores, el régimen normal de la insolación. Se emplea para ello la información diaria de la duración de esa insolación facilitada por la Federación Nacional de Cafeteros— FNC (hasta diciembre de 1980) y por el Himat (procesada y disponible para uso público hasta diciembre de 1977).

Se procedió inicialmente al inventario y recopilación de la información disponible y luego a un análisis previo de la calidad de esos datos. Posteriormente se efectuó el procesamiento estadístico de la información de la insolación media diaria, con el objeto de verificar, corregir, depurar y homogeneizar las series. Simultáneamente para cada serie se derivaron los datos de duración de la insolación media diaria para cada uno de los doce meses y para el año completo.

Con el propósito de lograr un análisis espacial y temporal satisfactorio y exacto del elemento insolación, se zonificó toda la región; después, se formularon modelos matemáticos que establecieron relaciones e interrelaciones entre los datos de las diferentes estaciones climatológicas, y entre ellas y los factores climáticos. Con base en estos resultados se procedió nuevamente a verificar, corregir y depurar la información.

La anterior labor también permitió la selección de estaciones climatológicas de referencia para que, con base en ellas, se pudiera depurar y ampliar la información de las otras estaciones a un período homogéneo de 30 años continuos (1951-1980), lo cual, a su vez, posibilita hablar de régimen normal. Finalmente, con ayuda de gráficas representativas, y obviamente de todas las ecuaciones y datos obtenidos, se procedió a determinar la variación espacial y la variación temporal de la duración de la insolación en la cuenca del Cauca Superior y en sus alrededores.

\* Departamento de Geociencias - Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.



**Fig 1. MAPA DE LOCALIZACION GENERAL DE LA CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR**

## 2. GENERALIDADES

### 2.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA

El marco geográfico de este estudio se localiza en la denominada cuenca del Cauca Superior, comprendiendo dentro de ella todas las tierras que abarcan las áreas de captación del río Cauca, desde su origen hasta el puerto de La Virginia, donde inicia su encañonamiento. Se ubica en el sector centro occidental de Colombia, en términos estrictos lo que tradicionalmente se ha denominado tierras caucanas. Se trata de una depresión alargada con dirección sur-norte enmarcada por las cordilleras Occidental y Central (Figs. 1 y 2).

El río Cauca nace en el corazón mismo del macizo colombiano, en la laguna del Buey, Páramo de las Papas, corre entre las cordilleras Central y Occidental y finalmente entre las llanuras del Caribe, bañando esa región cenagosa y desembocando en el río Magdalena, del cual es su principal afluente y más largo del occidente colombiano. Tiene características generales semejantes a las del Magdalena, ya que primero recorre regiones quebradas y abruptas, luego se hace navegable hasta el "Cañón del Cauca" y, en los últimos kilómetros es un río maduro dentro de un valle abierto. También al igual que el Magdalena, se formó por una dislocación o fractura y la fosa fue rellenada por sedimentación.

El río Cauca tiene una longitud de 1015 kilómetros desde la Laguna del Buey hasta su confluencia con el río Magdalena, de la cual aproximadamente 650 kilómetros son navegables. Sus afluentes principales son los ríos San Jorge y Nechí. Su cuenca de captación cubre unos 62.000 kilómetros cuadrados.

La cuenca hidrográfica del Cauca Superior puede dividirse en los cuatro sectores siguientes:

- a) "Valle del Paletará". Desde el centro mismo del Macizo Colombiano, el río atraviesa este alto, frío y húmedo valle (cerca de 22 kilómetros de largo por 5,5 de ancho) y las tierras quebradas que lo circundan. Sustenta algunos cultivos y ganadería.
- b) "Valle de Popayán o de Pubenza". Es una zona típica, templada y agradable, en donde las abruptas montañas han disminuido considerablemente de altura para convertirse en lomas bajas. Este Valle enmarca a la colonial capital del Cauca y permite el predominio de la industria pecuaria.
- c) "Meseta Caucana o Meseta de Popayán". Se extiende desde el Palacé en el sur de este sector, hasta las inmediaciones de la población de Santander. A la derecha del profundo cauce del río, ella presenta elevaciones considerables, aunque se intercalan lomas con tierras suaves, ásperas o estériles. En general, se trata de tierras de poca capacidad agrícola y están más aptas a la ganadería.

d) "Valle del Cauca". Alargada planicie de 1000 metros de altitud media (aproximadamente 250 kilómetros de largo por 22 a 30 de ancho). Constituye un fértil, cálido y pintoresco valle, es una de las regiones más bellas, alegres y progresistas de Colombia. Por su abundante producción agrícola y ganadera, complementada por sus innumerables industrias, el Valle del Cauca es un "Valle de Ciudades" a la cabeza de las cuales se encuentra Cali, capital departamental.

A la deleitable planicie del Valle, fin de la cuenca del Cauca Superior, le siguen las ásperas tierras caldenses y antioqueñas que conforman la cuenca del Cauca medio.

En general, la forma de la cuenca del Cauca Superior semeja un rectángulo, cuyos puntos extremos corresponden a las siguientes coordenadas geográficas: al suroriente de  $01^{\circ}58'$  de latitud norte y  $76^{\circ}34'$  de longitud oeste, al suroccidente de  $02^{\circ}27'$  latitud norte y  $77^{\circ}00'$  de longitud oeste, al noroccidente de  $05^{\circ}02'$  de latitud norte y  $76^{\circ}05'$  de longitud oeste, al nororiente de  $75^{\circ}23'$  de latitud norte y  $04^{\circ}43'$  de longitud oeste. El cauce del río Cauca, colector principal, atraviesa el rectángulo por el sector occidental y deja, aproximadamente el 80% del área de captación en el sector oriental, donde también se ubica la mayor parte de sus afluentes. En la región predominan las características montañosas con elevaciones mínimas de 900 metros y máximas de 3.900 metros en la Cordillera Occidental y 5.700 metros en la Central.

El límite norte de la cuenca se encuentra aguas arriba de la confluencia del Cauca con el río Cañaveral, donde comienza el sector hidrográfico de captación del Cauca medio. Hacia el sur limita con la cuenca del río Patía. Lateralmente se encuentra separada de las afluentes de la Vertiente del Pacífico y de los cauces que tributan sus aguas al Alto Magdalena por las cordilleras Occidental y Central, respectivamente; cadenas montañosas, estas, que, consecuentemente conforman sus fronteras naturales al Occidente y Oriente.

### 2.2 MEDIDA DE LA DURACION DE LA INSOLACION

#### 2.2.1 Objetivo

Puesto que los climas comprenden sistemas interconectados de diversos elementos y factores, nuestra comprensión de ellos, tendiente a su aprovechamiento, dependerá en gran medida de un excelente y apropiado cubrimiento de las mediciones y análisis de, por lo menos, los elementos fundamentales.

La insolación, ya sea que se considere como la cantidad de energía radiante (radiación) que emite un cuerpo o que este recibe de otro, o que se considere como el tiempo durante el cual un cuerpo recibe energía radiante de otro (duración de la



insolación), es con toda seguridad y por excelencia, el elemento climático fundamental.

Las razones básicas por las cuales la insolación constituye el elemento climático fundamental, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- a) Condiciona la elaboración de materia orgánica a través de la fotosíntesis;
- b) Condiciona la distribución de temperatura en la superficie del terreno y, por lo tanto, la distribución de los cultivos.
- c) Es la fuente de energía del ciclo hidrológico.
- d) Es la fuente de energía de la circulación general de la atmósfera y, por lo tanto, del estado del tiempo.

Todos los días, sin excepción, el mayor reactor nuclear de nuestro sistema solar —el sol—, nos entrega parte de la energía que produce y que representa una cantidad miles de veces superior a la empleada por la naturaleza y la que, por sus capacidades y desarrollo, aprovecha o puede aprovechar el hombre.

Las aplicaciones que ha logrado o que puede lograr la humanidad, son diversas y entre ellas se pueden mencionar las siguientes: destilación y desalinización del agua, calentamiento del agua, calefacción de ambientes, generación de temperaturas superiores a los 180°C, casas solares, aire acondicionado, bombeo de agua subterránea, calefacción de piscinas, cocinas solares, hornos solares, centrales helio-eléctricas y/o helio-hidroeléctricas, espejos solares como soles suplementarios, modificación general del estado del tiempo, luz solar contra la contaminación por petróleo, obtención de hidrógeno por descomposición termoquímica del agua, energía solar para la industria fotoquímica, fotosíntesis en laboratorio (Rau, 1981).

Utilizar la energía del sol, capturándola y transformándola con el mecanismo que sea, es sólo una parte del problema, puesto que los dispositivos estarán forzosamente supeditados a la intermitencia o contingencia de la luz del sol, es decir a la duración de la insolación.

Por lo tanto, para poder emplear con eficiencia la energía solar, es requisito previo e indispensable la medición y determinación de la distribución espacial y temporal de la insolación, ya sea como radiación o como duración de la insolación. Al estudiar este parámetro se resuelve, por lo tanto, una buena parte del problema.

En el mundo, y especialmente en Colombia, solo un número muy reducido de las estaciones climatológicas existentes están equipadas para efectuar mediciones regulares de la radiación solar directa y, todavía más pocas cuentan con equipos para medir la radiación saliente de onda larga o la radiación total resultante. Por esta razón, ante la dificultad de disponer de medidas de radiación muchos autores han logrado correlacionar los valores de radiación global recibida en un lugar con la duración de la insolación, las correlaciones han

resultado muy bien definidas para valores medios diarios mensuales o medios diarios anuales (Angstrom, Penman, Gloser & MacCulloch, Koopman, Black, Bonython & Prescott; Smith; en Sellers 1972; Frère, Rijks & Rea 1978). De donde resulta que, es posible determinar los valores de radiación global a partir de los valores de duración de la insolación, para aquellos lugares en los cuales no se mide el primero de ellos, por ejemplo en Colombia.

Pero los valores de duración de la insolación no solamente son útiles para evaluar la radiación solar, sino que su análisis sirve para otros objetivos directos igualmente importantes, tales como los estudios de fisiología vegetal, contaminación atmosférica, determinación de índices climáticos, cálculos de evapotranspiración, determinación de balances hídricos, etc.

### 2.2.2 Instrumento de Medida

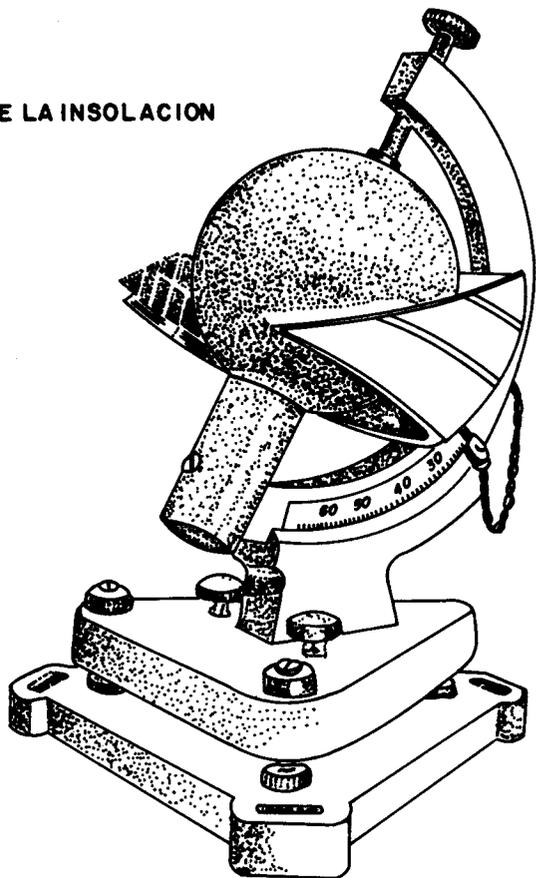
El Heliógrafo es el instrumento meteorológico diseñado para registrar el número de horas diarias, durante las cuales la intensidad de la luz solar es superior a cierto valor, que para todos los fines prácticos es igual a la duración de la insolación (Fig. 3), (World Meteorological Organization, 1971; Eslava, 1980).

El elemento medidor es una esfera de cristal óptico, de 96 milímetros de diámetro, trabajada con gran precisión, transparente y perfectamente pulida, cuyo objetivo es concentrar los rayos solares provenientes de cualquier dirección en un punto focal próximo a ella. La esfera está sostenida por un arco, de manera que los rayos del sol se enfoquen en la superficie de una gráfica de cartón que la sujeta a un casco metálico unido al arco. Este tiene la forma de un semianillo, es metálico de regular anchura, y está situado en la parte inferior de la esfera de cristal. Sus dimensiones están calculadas para que durante todas las horas del día la luz concentrada de los rayos solares caiga en alguna parte de su superficie. Este semianillo metálico está provisto de tres canales para colocar igual número de gráficas diferentes, con las cuales se equipa el instrumento en diversas épocas, según la posición del sol respecto al plano ecuatorial.

Los canales para las gráficas quedan colocados en dirección este-oeste, de manera que cuando el sol se mueve en el firmamento en dirección este-oeste, su imagen se desplaza sobre la superficie del casco en sentido oeste-este.

El instrumento, está diseñado para producir un haz de luz concentrado que causa una línea de quemadura en el cartón marcando así, en la gráfica, las horas de luz solar. El cartón está especialmente preparado para que en los momentos de luz solar fuerte, la quemadura no se extienda demasiado, y que cuando la luz solar sea muy poco intensa deje señales visibles de quemadura. En definitiva se tiene una línea de quemaduras proporcional al tiempo que la luz ha logrado llegar a la superficie

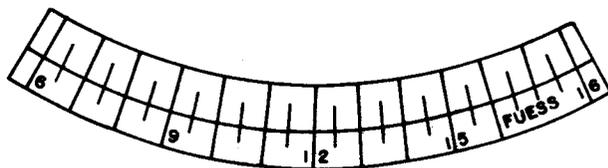
**A) - REGISTRADOR DE LA INSOLACION**



**B) - GRAFICAS DEL REGISTRADOR DE LA INSOLACION**

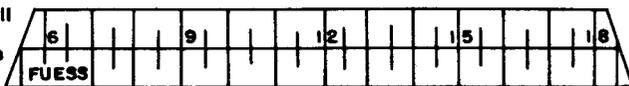
**HEMISFERIO NORTE**

22 de Octubre  
A  
21 de Febrero



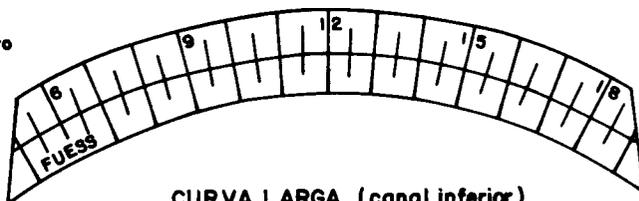
**CURVA CORTA (Canal Superior)**

22 de Febrero A 20 de Abril  
23 de Agosto A 21 de Octubre



**RECTA (canal central)**

21 de Abril A 22 de Agosto



**CURVA LARGA (canal inferior)**

**HEMISFERIO SUR**

21 de Abril  
A  
22 de Agosto

22 de Febrero A 20 de Abril  
23 de Agosto A 21 de Octubre

22 de Octubre A 21 de Febrero

**Fig. 3. ESQUEMA DEL HELIOGRAFO**

con interrupciones sin quemadura, correspondientes al lapso en que el sol ha permanecido oculto. El cartón está impreso con una línea central y líneas perpendiculares a ella que representan las horas y medias horas, de tal forma que se puede medir no solo la duración de la luz solar, en horas y décimos de hora, sino también la hora exacta en que comenzó o terminó cada uno de los períodos de insolación.

El sitio donde se instala un heliógrafo debe tener características tales que la luz del sol, desde la salida hasta la puesta, caiga directamente sobre la esfera de cristal, sin verse obstaculizada por factores distintos a la nubosidad. Es decir, no deberán existir a su alrededor obstáculos (edificios, vegetación, postes, etc.) o accidentes topográficos que impidan que los rayos solares le lleguen directamente durante todo el día y en las distintas épocas del año.

### 3. RECOLECCION Y DEPURACION DE LA INFORMACION

Los datos bases fueron recopilados de los archivos y de las diferentes publicaciones de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1949-1980) y del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (1935-1977). Para realizar la depuración y homogeneización de la información, se aplicaron sólidos criterios meteorológicos y los métodos estadísticos más adecuados, especialmente los recomendados por Brooks & Carruthers (1953), Panofsky & Brier (1958), Organización Meteorológica Mundial (1970), Essenwanger (1976), World Meteorological Organization (1976), Eslava, Parra & Villalba (1985).

#### 3.1 Inventario y recopilación de la información disponible

Para efectuar el análisis de la duración de la insolación en la cuenca hidrográfica del Cauca Superior, primero se realizó el inventario de las estaciones climatológicas, que han funcionado y/o funcionan en dicha región o en las vecinas, en las cuales se efectúan o se han efectuado mediciones de la insolación. De un total de 150 estaciones inventariadas se recopiló la información de 75, de las cuales 30 están ubicadas dentro del área de estudio y las restantes en las zonas vecinas.

En el cuadro No. 1 se presenta la identificación, ubicación geográfica y otros datos importantes de esas estaciones. El número de orden corresponde también al número con que se identifican en el mapa de localización de estaciones (Fig. 4) y en los demás cuadros.

#### 3.2 Depuración y homogeneización de la información

En la práctica no se puede decir que existen datos climáticos perfectos, todos ellos tienen un cierto rango de inexactitud a causa de inseguridades y errores de diferente índole imputables a la instalación del instrumento, a su lectura, anotación,

comunicación, recopilaciones sucesivas, etc. Esto obliga, en todos los casos, a verificar los datos y ajustarlos, es decir a depurarlos y homogeneizarlos hasta donde las leyes estadísticas, el grado de exactitud del instrumental y de los métodos de observación lo permitan, aunque se debe evitar violar la integridad del dato original y su característica científica. A pesar de que existen diversas pruebas para verificar la homogeneidad de una serie de datos registrados, aquella que se elija debe ser aplicada de una manera uniforme con el objeto de mantener la inexactitud al más bajo nivel posible.

En nuestro caso concreto, a fin de alcanzar este objetivo, se procedió inicialmente a una verificación y revisión preliminar de todos y cada uno de los datos disponibles con el propósito de descubrir errores numéricos o de lectura, sistemáticos o no sistemáticos, fallas instrumentales o valores no representativos originados por la exposición o instalación inadecuada del instrumento, para luego proceder a su eliminación.

Posteriormente se recurrió a la prueba de simetría (independiente del parámetro al cual se aplica), llamada también prueba no paramétrica de rachas. Esta se realiza estableciendo dos categorías (mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas), que se construyen comparando los datos individuales con el valor central (mediana o media) de cada serie mensual, ordenada de una manera natural, por ejemplo cronológicamente, para lo cual se consideran como elementos de tipo 1 a los datos cuyos valores son inferiores a los del valor central, y como elementos de tipo 2 a aquellos valores iguales o superiores al central.

Un ejemplo de la utilización de esta prueba se obtiene procesando la serie de 30 datos de duración de la insolación media diaria (horas y décimos), de los meses de enero de 1951 a 1980, y correspondientes a la estación climatológica de Chinchiná-Cenicafé.

Eneros	Inso-	Elemento	Eneros	Inso-	Elemento
Año	lación	Tipo	Año	lación	Tipo
	Media-			Media-	
	diaria			diaria	
1951	5.4	1	1966	6.9	2
1952	6.4	2	1967	5.9	1
1953	5.1	1	1968	7.3	2
1954	6.1	1	1969	6.3	2
1955	5.8	1	1970	6.2	1
1956	5.7	1	1971	5.5	1
1957	7.2	2	1972	4.9	1
1958	6.7	2	1973	7.8	2
1959	7.5	2	1974	3.9	1
1960	6.2	1	1975	5.8	1
1961	6.0	1	1976	6.0	1
1962	6.0	1	1977	7.6	2
1963	7.5	2	1978	6.8	2
1964	8.2	2	1979	6.2	1
1965	5.7	1	1980	6.2	1
Elementos Tipo 1 = 18			Elementos Tipo 2 = 12		



CUADRO 1

**UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS CON DATOS DE DURACION DE LA INSOLACION EN LA CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR  
Y AREAS ADYACENTES**

No.	Nombre de la estación	Coord. Geogra.		Altitud (m)	Municipio	Depto.	Cuenca	Subcuenca	Período con Información		Entidad
		Lat. N.	Lon. O.								
1	Paletará	02°08'	76°25'	2900	Coconuco	Cauca	Cauca	Cauca	1971	1979	HIMAT
2	La Florida - José María Obando	02°27'	76°35'	1850	Popayán	Cauca	Cauca	Cauca	1951	1980	FNC
3	Aeropuerto Machangara	02°28'	76°35'	1730	Popayán	Cauca	Cauca	Cauca	1974	1978	HIMAT
4	Cerro Munchique	02°31'	76°58'	3012	El Tambo	Cauca	Cauca	Sucio	1971	1978	HIMAT
5	Gabriel López	02°30'	76°17'	3000	Totoro	Cauca	Cauca	Palacé	1971	1978	HIMAT
6	Venta de Cajibío	02°31'	76°35'	1800	Cajibío	Cauca	Cauca	Cajibío	1972	1977	HIMAT
7	La Salvajina	02°58'	76°42'	1100	Buenos Aires	Cauca	Cauca	Cauca	1972	1978	HIMAT
8	Japio	03°01'	76°28'	1015	Caloto	Cauca	Cauca	Cauca	1968	1976	HIMAT
9	Pitayo	02°44'	76°20'	2980	Silvia	Cauca	Cauca	Palo	1971	1974	HIMAT
10	Tacueyó	03°02'	76°14'	1790	Toribío	Cauca	Cauca	Palo	1972	1977	HIMAT
11	Ingenio Bengala	03°15'	76°25'	1000	Puerto Tejada	Cauca	Cauca	Paño	1968	1972	HIMAT
12	Jamundí - Potrerito	03°14'	76°35'	1010	Jamundí	Valle	Cauca	Jamundí	1977	1978	HIMAT
13	Ingenio Cauca	03°17'	76°19'	1000	Miranda	Cauca	Cauca	Desbaratado	1966	1977	HIMAT
14	Miranda	03°15'	76°14'	1200	Miranda	Cauca	Cauca	Desbaratado	1968	1978	HIMAT
15	Universidad del Valle	03°24'	76°32'	970	Cali	Valle	Cauca	Meléndez	1965	1978	HIMAT
16	Aeropuerto Palmaseca	03°33'	76°23'	961	Palmira	Valle	Cauca	Guachal	1972	1978	HIMAT
17	Palmira - Ica.	03°31'	76°19'	975	Palmira	Valle	Cauca	Palmira	1951	1978	HIMAT
18	Tenerife	03°44'	76°05'	2609	Cerrito	Valle	Cauca	Amaime	1972	1979	HIMAT
19	Balboa - Ica	03°56'	76°18'	960	Buga	Valle	Cauca	Cauca	1969	1977	HIMAT
20	Trujillo - Manuel Mallarino	04°10'	76°21'	1380	Trujillo	Valle	Cauca	Nare	1969	1980	FNC
21	Sevilla - Heraclio Uribe	04°16'	75°55'	1540	Sevilla	Valle	Cauca	Saldaña	1954	1980	FNC
22	Tierra Blanca	04°25'	76°06'	930	Roldanillo	Valle	Cauca	Cauca	1971	1978	HIMAT
23	Centro Administrativo La Unión	04°32'	76°03'	920	La Unión	Valle	Cauca	Cauca	1967	1978	HIMAT
24	Cumbarco	04°10'	75°47'	1740	Sevilla	Valle	Cauca	Barragán	1973	1978	HIMAT
25	Paraguaycito	04°23'	75°42'	1250	Buenavista	Quindío	Cauca	Santo Domingo	1962	1980	FNC
26	La Bella	04°30'	75°38'	1450	Calarcá	Quindío	Cauca	Santo Domingo	1956	1980	FNC
27	El Sena	04°32'	75°42'	1500	Armenia	Quindío	Cauca	Quindío	1962	1980	FNC
28	Arturo Gómez	04°40'	75°48'	1320	Alcalá	Valle	Cauca	Cauca	1966	1980	FNC
29	La Joya	04°46'	75°47'	1250	Pereira	Risaralda	Cauca	Consota	1976	1980	FNC
30 A	Aeropuerto Matecaña	04°35'	75°44'	1342	Pereira	Risaralda	Cauca	Consota	1977	1978	HIMAT
30 B	Veracruz	04°51'	75°38'	1684	Santa Rosa de Cabal	Risaralda	Cauca	San Eugenio	1978	1978	HIMAT
31	Universidad Tecnológica de Pereira	04°48'	75°42'	1354	Pereira	Risaralda	Cauca	Otún	1964	1971	HIMAT
32	La Bohemia	04°52'	75°54'	1020	Pereira	Risaralda	Cauca	Cauca	1963	1978	HIMAT
33	El Cedral	04°47'	75°37'	2120	Pereira	Risaralda	Cauca	Otún	1968	1980	FNC
34	Dos Quebradas - La Rosa	04°51'	75°42'	1470	Santa Rosa de Cabal	Risaralda	Cauca	Otún	1956	1969	FNC

## (Continuación Cuadro 1)

No.	Nombre de la estación	Coor. d. Geogra.		Altitud (m)	Municipio	Depto.	Cuenca	Subcuenca	Período con Información		Entidad
		Lat. N.	Lon. O.								
35	El Jazmín - Pedro Uribe	04°53'	75°36'	1600	Santa Rosa de Cabal	Risaralda	Cauca	Campoalegre	1961	1980	FNC
36	Ingenio San Francisco	04°54'	75°54'	1000	La Virginia	Risaralda	Cauca	Risaralda	1976	1980	FNC
37	La Cecilia	05°04'	75°53'	1028	Viterbo	Caldas	Cauca	Risaralda	1963	1971	HIMAT
38	La Camelia	05°05'	75°58'	1670	Santuario	Risaralda	Cauca	Mapaí	1963	1977	HIMAT
39	Bellavista	05°17'	75°49'	2000	Anserma	Caldas	Cauca	Guática	1963	1978	HIMAT
40	Chinchiná - Cenicafé	04°59'	75°35'	1310	Chinchiná	Caldas	Cauca	Chinchiná	1951	1980	FNC
41	Naranjal	04°58'	75°42'	1400	Chinchiná	Caldas	Cauca	Chinchiná	1956	1980	FNC
42	Facultad de Agronomía - Manizales	05°03'	75°29'	2150	Manizales	Caldas	Cauca	Chinchiná	1956	1980	FNC
43	Aeropuerto La Nubia	05°02'	75°28'	2080	Manizales	Caldas	Cauca	Chinchiná	1970	1978	HIMAT
44	Santágueda - Luker	05°03'	75°41'	1020	Palestina	Caldas	Cauca	Chinchiná	1975	1980	FNC
45	Santágueda - Facultad	05°05'	75°40'	1010	Palestina	Caldas	Cauca	Chinchiná	1968	1980	FNC
46	Las Palomas	05°08'	75°28'	2700	Manizales	Caldas	Cauca	Chinchiná	1959	1970	FNC
47	Llanadas	05°13'	75°09'	1470	Manzanares	Caldas	Magdalena	Guarino	1956	1980	FNC
48 A	Granja Líbano	04°56'	75°04'	1520	Líbano	Tolima	Magdalena	Recio	1951	1975	FNC
48 B	La Trinidad	04°55'	75°04'	1430	Líbano	Tolima	Magdalena	Recio	1976	1980	FNC
49	El Paso	04°31'	75°31'	3264	Cajamarca	Tolima	Magdalena	Coello	1975	1977	HIMAT
50	Chapetón - Mariano Melendro	04°27'	75°16'	1300	Ibagué	Tolima	Magdalena	Combeima	1956	1980	FNC
51	Cajamarca	04°26'	75°26'	1760	Cajamarca	Tolima	Magdalena	Coello	1969	1977	HIMAT
52	Varsovia	04°01'	75°10'	400	San Luis	Tolima	Magdalena	Cucuana	1968	1977	HIMAT
53	San Antonio	03°55'	75°29'	1500	San Antonio	Tolima	Magdalena	Ortega	1976	1977	HIMAT
54	Granja Demostración Chaparral	03°43'	75°32'	1040	Chaparral	Tolima	Magdalena	Amoya	1965	1973	HIMAT
55	El Limón	03°43'	75°38'	990	Chaparral	Tolima	Magdalena	Saldaña	1971	1980	FNC
56	Mesa de Pole	03°28'	75°33'	500	Ataco	Tolima	Magdalena	Saldaña	1969	1977	HIMAT
57	Aeropuerto Planadas	03°14'	75°45'	1355	Planadas	Tolima	Magdalena	Ata	1968	1977	HIMAT
58	Toeiz	02°49'	76°05'	1997	Paez	Cauca	Magdalena	Paez	1972	1977	HIMAT
59	Escuela Agropecuaria La Plata	02°25'	75°55'	1070	La Plata	Huila	Magdalena	La Plata	1970	1977	HIMAT
60	Valencia	01°57'	76°37'	2900	San Sebastián	Cauca	Magdalena	Caquetá	1971	1977	HIMAT
61	Parque Arqueológico - San Agustín	01°51'	76°18'	1800	San Agustín	Huila	Magdalena	Naranjo	1975	1977	HIMAT
62	Sevilla - Quindío	01°50'	76°03'	1320	Pitalito	Huila	Magdalena	Guarapas	1975	1978	HIMAT
63	Mercaderes	01°46'	77°10'	1174	Mercaderes	Cauca	Patía	Guaitara	1971	1978	HIMAT
64	Bolívar	01°53'	76°58'	1510	Bolívar	Cauca	Patía	Sambingo	1971	1977	HIMAT
65	Sajandí - La Fonda	02°05'	77°01'	730	El Bordo	Cauca	Patía	Patía	1971	1977	HIMAT
66	La Sierra	02°10'	76°46'	1870	La Sierra	Cauca	Patía	Guachicono	1971	1977	HIMAT
67	El Tambo - Manuel Mejía	02°24'	76°48'	1700	El Tambo	Cauca	Patía	Cauca	1956	1980	FNC
68	La Cumbre	03°38'	76°35'	1580	La Cumbre	Valle	Dagua	Cauca	1961	1967	FNC
69	Restrepo - Julio Fernández	03°49'	76°31'	1360	Restrepo	Valle	Dagua	Grande	1954	1980	FNC
70	La Cúchilla - El Recreo	04°42'	76°11'	1600	Argelia	Valle	San Juan	Las Vueltas	1972	1978	HIMAT
71	Subestación Albán	04°46'	76°13'	1400	El Cairo	Valle	San Juan	Las Vueltas	1974	1980	FNC
72	San José Del Palmar	04°57'	76°17'	1100	San José del Palmar	Chocó	San Juan	Tamaná	1973	1978	HIMAT
73	Pueblo Rico	05°15'	76°03'	1515	Pueblo Rico	Risaralda	San Juan	Mistrató	1973	1978	HIMAT

En una distribución perfectamente normal la cantidad de elementos Tipo 1 deberá ser cuantitativamente igual a la de elementos de Tipo 2, y consecuentemente las dos cantidades serán iguales a la mitad del total de datos colectados en la serie, si ella es par o una diferencia de un dato, si la serie es impar. Puesto que los elementos meteorológicos tienen frecuentemente una alta variabilidad y, para casi todas las aplicaciones meteorológicas los intervalos de confianza más satisfactorios son los de 90%, se considera que las distribuciones, de los elementos y sus valores, fuera de esos límites de confianza son heterogéneas.

Si retomamos el ejemplo y tenemos en cuenta que la serie consta de 30 datos, en una distribución normal, con límites de confianza del 90%, la cantidad de elementos tipo 1 o tipo 2 debe encontrarse entre el intervalo de 12 a 19, lo cual efectivamente se cumple; por lo tanto, puede considerarse que la serie es homogénea. Sometiendo a la misma prueba, para cada mes, los registros originales de las estaciones con períodos superiores a 20 años, se pudo determinar su homogeneidad, lo que permite utilizar tales estaciones como climatológicas de referencia.

Las estaciones climatológicas de referencia son aquellas cuyos datos están destinados a determinar las tendencias climáticas, por lo cual se requiere que los registros sean homogéneos, obtenidos en sitios donde las modificaciones del medio ambiente por las actividades humanas hayan sido y/o se espera sigan siendo mínimas y correspondan a períodos de tiempo largos (30 años de registro directo o ajustados, como mínimo).

Si las pruebas determinan que una serie es heterogénea, se procede a buscar las posibles causas de tal heterogeneidad y, en caso de detectarlas, se corrigen o suprimen aquellos datos erróneos causantes de la irregularidad.

En este caso la homogeneización de los datos y su ajuste sirven para eliminar o reducir al mínimo las influencias extrañas no propias del elemento en estudio, además sirve para hacer que las series de datos, y sus valores promedios, sean comparables con series de la misma índole procedentes de otros lugares. Sin embargo, es necesario hacer notar que al tratar de homogeneizar las diferentes series no se intenta derivar una serie de valores individuales con las mismas propiedades de una prueba de la propia población; dicho de otra forma, si para una estación determinada no se dispone de la medida de un día o de todo un mes, será imposible reproducir los datos individuales, por cuanto eso significa cambiar el grado de dispersión de la distribución de frecuencia. Sin embargo, es posible ajustar ciertos datos estadísticos de la serie, de tal forma que esos datos ajustados, sean efectivamente parecidos a aquellos obtenidos a través de pruebas tomadas de la propia población.

Estos ajustes se hacen, respecto a los valores medios de las series de datos, con el propósito de

obtener valores normales que meteorológicamente son más aceptables y representativos, que se definen como las medias calculadas para un período relativamente largo y uniforme, que abarque datos homogéneos de, por lo menos, tres períodos consecutivos de 10 años, cada uno; cuando los datos no son continuos se pueden calcular normales ajustadas.

Se elaboraron más de cuatrocientos diagramas de dispersión con el propósito de coadyuvar en la homogeneización de las series, de modo que puedan servir de base para los ajustes posteriores, estimación de datos faltantes, igualación de series y determinación de las normales climatológicas directas y ajustadas.

Cada una de las series de datos de una estación se correlacionó, de esa forma, como mínimo con tres (promedio con cinco) series de estaciones vecinas, de las cuales, por lo menos una de ellas debe ser una estación climatológica de referencia. En esos diagramas, obviamente se representaron datos de duración de la insolación media diaria, de dos estaciones distintas. Del análisis de los diagramas pudieron determinarse los valores que representan datos extremos y/o combinaciones excepcionales; además, se pusieron en evidencia, y se identificaron, todos aquellos datos que podrían ser causas de heterogeneidad. Esta heterogeneidad, una vez comprobada, se elimina, prescindiendo de esos datos.

De las 75 series iniciales, se seleccionaron solo 71 después de depurarlas y comprobar su homogeneidad. De esas 71 se desecharon posteriormente 3 estaciones (números 21, 26 y 46) que, a pesar de ser homogéneas tienen involucrado un error sistemático ocasionado por la no representatividad del sitio exacto donde está instalado el instrumento o por sus datos de elevación incorrectos.

De las 68 estaciones seleccionadas finalmente, 26 están ubicadas dentro del área del estudio y 42 en los alrededores. De esas 68 estaciones, 9 pudieron designarse como estaciones climatológicas de referencia.

Las 68 estaciones utilizadas son las que aparecen relacionadas en el cuadro 4 y las de referencia se indican en el cuadro 3.

### 3.3. Selección del período de estudio

En los estudios meteorológicos efectuados hasta la fecha en Colombia, se ha demostrado que los períodos que abarcan desde el año 1951 son representativos para todos los efectos de determinar valores medios e inclusive extremos (Stanescu & Rodríguez 1972; Oster 1979; Eslava, Parra & Villalba, 1985).

En Colombia son muy pocas las estaciones climatológicas en las que se dispone de información para años anteriores a 1951. En el caso específico de los valores de insolación en el Cauca Superior, solo dos estaciones poseen datos anteriores a 1951: Chinchiná-Cenicafé (dos años) y Pamira-Ica (15 años); sin embargo, estos datos no son adecua-

dos para someterlos a procesos estadísticos tendientes a determinar la representatividad de los diferentes períodos.

Los datos de los años 1949 y 1950 de Chinichiná no aportan nada nuevo, obviamente su análisis solo serviría para probar que el período 1951-1980 es representativo de 1949-1980. Por otra parte, los 15 años adicionales de Palmira incluyen valores erróneos que introducen heterogeneidades considerables, dentro de la serie total y, que al no poder ser comparados con otras estaciones son imposibles de corregir, lo cual impide efectuar la prueba de representatividad. Sin embargo, lo comprobado por otros estudios para el país y para esta cuenca en particular, con respecto a la representatividad de los períodos que abarcan desde 1951 y, principalmente el hecho mismo de que el lapso entre 1951 y 1980 abarca treinta años con tres décadas consecutivas y posibilita establecer las "Normales Climatológicas", permite asegurar que ese período (1951-1980) es también representativo y que los estadísticos que se determinen, a partir de él, representan eficientemente a los parámetros calculados a partir de una población mayor.

### 3.4 Estimación de datos faltantes

En términos generales, todos los métodos que se usan para ajustar promedios o igualar series en cuanto a su período de registro, se sirven de una estación climatológica de referencia con un registro homogéneo y suficientemente largo. Esa estación debe estar lo más cerca posible a la que se quiere ajustar, puesto que la efectividad del ajuste dependerá de las correlaciones entre las dos estaciones.

En este estudio, las estaciones de referencia están ubicadas en la misma zona climática que las que se homogeneizaron a partir de ellas y, en general, a distancias no mayores a los 80 kilómetros.

Cada estación se ajusta con base en otra de referencia como mínimo pero, naturalmente en una buena parte de los casos la correlación se efectúa con dos o tres, y de ellas se selecciona, en definitiva, la mejor.

El ajuste de las estaciones de referencia a las que les falta una parte del período a comparar, se realizó utilizando las series de referencia vecinas que sí poseen ese subperíodo.

El procedimiento fue en todos los casos similar: los 400 diagramas de dispersión elaborados con el primer propósito inicial de detectar heterogeneidades, fueron dispuestos sucesivamente con el objeto de comparar todos los diagramas que involucraban una estación que necesitaba ser ajustada, y de cada grupo se seleccionó el o los diagramas que mejor correlación presentaban, es decir el o los que menos dispersión mostraban.

Las parejas de estaciones (series) que figuran en cada diagrama de dispersión seleccionado, se correlacionaron por el método de los mínimos cuadra-

dos y se encontró el coeficiente de correlación y la ecuación de regresión.

Se determinó, por otra parte, que el modelo debería ser de regresión lineal y no logarítmica, exponencial potencial o de otro tipo, por cuanto los diagramas de dispersión mostraban en todos los casos, esa relación lineal.

De todas las ecuaciones de regresión lineal determinadas —cerca de 200— se seleccionó para cada estación sujeta a ajuste (variable dependiente) la que mostrara el coeficiente de correlación más alto (mínimo 0.70), y que en lo posible, la otra estación (variable independiente) fuera una estación climatológica de referencia.

Solo en cinco casos fue necesario aceptar ecuaciones de regresión lineal con coeficientes de correlación inferiores, pero muy cercanos, a 0.70, el más bajo alcanzó 0.65 y se trata de una estación ubicada fuera de la cuenca.

La significación de un coeficiente de correlación no depende únicamente de su magnitud sino también de la cantidad de pares de valores a partir de los cuales ha sido calculado, así como de las propiedades estadísticas de cada una de las series entre las cuales existe correlación. En este sentido sólo en dos casos la cantidad de pares fue inferior a treinta, ya que en el resto se superó ampliamente el valor crítico de los treinta pares, llegando a valores extremos que superan los trescientos pares.

En los dos casos mencionados fue necesario estimar los datos medios con el fin de poder utilizar esos registros (muy parciales) ya que se hace indispensable disponer de esa información debido a su ubicación en áreas geográficas críticas. De todas formas esa información puede ser considerada satisfactoria, en razón de que en el análisis espacial y temporal, los resultados de la estimación se ajustaron al análisis general y, además porque esas estimaciones constituyen las mejores posibles dentro de las posibles.

Es de anotar que en los estudios meteorológicos hechos en Colombia, para otros elementos por supuesto, los coeficientes de correlación aceptados como mínimos son de 0.60 (Godoy, Sánchez, & Cabrera 1975; Eslava, Parra & Villalba, 1985).

Las ecuaciones de regresión lineal y sus correspondientes coeficientes de correlación, los podemos apreciar en el cuadro 2.

A las estaciones climatológicas de referencia se les calcularon los valores característicos de media, media máxima, media mínima, desviación típica, coeficiente de variación (relación entre media y desviación típica) y la diferencia entre el valor medio de cada mes con el valor anual; todos estos datos se presentan en el cuadro 3.

Utilizando como variables independientes los valores característicos medios mensuales de las estaciones de referencia y aplicando las ecuaciones de regresión lineal ya mencionadas y que aparecen

ECUACIONES DE REGRESION LINEAL Y  
COEFICIENTES DE CORRELACION

No. Estación		Ecuación de Regre- sión lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coeficientes de correlación lineal	No. Estación		Ecuación de Regre- sión lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coeficientes de correlación lineal
y	x			y	x		
1	5	$y = 0.57 + 0.68 x$	0.69	40	29	$y = 0.64 + 1.05 x$	0.89
3	2	$y = 0.17 + 1.01 x$	0.84	40	44	$y = -0.84 + 0.98 x$	0.95
4	67	$y = -0.45 + 0.87 x$	0.71	41	40	$y = -0.74 + 1.07 x$	0.86
5	7	$y = -0.82 + 0.83 x$	0.66	42	40	$y = -0.98 + 1.08 x$	0.91
6	2	$y = 0.74 + 0.73 x$	0.70	43	40	$y = -0.94 + 1.09 x$	0.90
7	17	$y = 0.51 + 0.83 x$	0.86	44	40	$y = 1.36 + 0.92 x$	0.95
8	17	$y = 0.39 + 0.93 x$	0.73	45	40	$y = 1.54 + 0.83 x$	0.89
10	17	$y = -0.48 + 0.80 x$	0.76	48A	47	$y = 0.68 + 0.96 x$	0.82
11	17	$y = 0.68 + 0.89 x$	0.79	48B	47	$y = -0.90 + 1.26 x$	0.84
13	17	$y = 0.80 + 0.76 x$	0.81	49	26	$y = -0.72 + 0.79 x$	0.81
14	17	$y = -0.95 + 1.03 x$	0.88	50	48A	$y = 1.53 + 0.70 x$	0.84
15	17	$y = 0.19 + 0.96 x$	0.84	51	50	$y = 1.98 + 0.55 x$	0.65
16	17	$y = 0.14 + 1.02 x$	0.92	52	50	$y = 2.77 + 0.63 x$	0.73
17	2	$y = 2.64 + 0.56 x$	0.76	53	50	$y = 2.36 + 0.61 x$	0.67
18	17	$y = -0.89 + 0.96 x$	0.83	54	50	$y = 1.78 + 0.72 x$	0.85
19	17	$y = 0.92 + 0.80 x$	0.75	55	50	$y = 0.89 + 0.81 x$	0.87
20	27	$y = 1.66 + 0.81 x$	0.91	56	17	$y = 2.37 + 0.57 x$	0.71
22	27	$y = 3.77 + 0.58 x$	0.85	57	50	$y = 1.01 + 0.62 x$	0.76
23	27	$y = 3.82 + 0.56 x$	0.72	58	17	$y = -1.55 + 0.94 x$	0.81
24	27	$y = 0.59 + 0.83 x$	0.86	59	2	$y = 1.82 + 0.48 x$	0.67
25	40	$y = 0.26 + 0.93 x$	0.88	60	2	$y = 0.64 + 0.51 x$	0.69
27	40	$y = -0.55 + 0.89 x$	0.80	61	2	$y = 0.68 + 0.78 x$	0.79
28	27	$y = 2.47 + 0.70 x$	0.82	62	2	$y = 1.96 + 0.51 x$	0.74
29	40	$y = 1.62 + 0.75 x$	0.89	63	67	$y = 1.57 + 0.80 x$	0.85
31	40	$y = -0.16 + 0.97 x$	0.90	64	67	$y = 0.04 + 0.99 x$	0.81
32	40	$y = 2.30 + 0.69 x$	0.73	65	67	$y = 2.69 + 0.65 x$	0.73
33	40	$y = -1.46 + 0.83 x$	0.81	66	67	$y = -1.06 + 1.05 x$	0.85
34	40	$y = 0.14 + 0.88 x$	0.85	67	2	$y = 1.58 + 0.67 x$	0.73
35	40	$y = -0.40 + 0.95 x$	0.92	68	69	$y = 0.62 + 0.83 x$	0.81
36	40	$y = 3.02 + 0.64 x$	0.82	69	17	$y = 0.55 + 0.84 x$	0.72
37	40	$y = 1.55 + 0.76 x$	0.88	70	27	$y = 1.45 + 0.80 x$	0.80
38	40	$y = -0.52 + 1.03 x$	0.82	71	27	$y = 0.14 + 0.95 x$	0.76
39	40	$y = -0.67 + 0.89 x$	0.74	72	27	$y = 0.36 + 0.62 x$	0.81
40	36	$y = 0.93 + 0.96 x$	0.88	73	40	$y = 0.14 + 0.75 x$	0.87

en el cuadro 2, se determinaron todos los valores medios mensuales, y con base en ellos el valor medio anual, de la duración de la insolación media diaria. Esto se hizo para todas y cada una de las otras 59 estaciones climatológicas, que son los datos que aparecen en el cuadro 4.

Por último, es conveniente mencionar el hecho de que cada uno de los datos medios mensuales, resulta del procesamiento de otros que alcanzan los 13.000. Por ejemplo, el dato de 6.3 (horas y décimos) de insolación media diaria que se determinó como valor medio para el mes de enero en la estación de Chinchiná-Cenicafé, proviene del análisis de 930 gráficas, una por cada uno de los días transcurridos durante los diferentes eneros, desde 1951 hasta 1980 (30 eneros por 31 días cada uno); a su vez, cada gráfica se compone de 14 datos, uno por cada hora con probabilidad de tener luz solar.

4. ANALISIS DE LA INSOLACION

4.1 Variación espacial

El análisis de la variación espacial de la duración de la insolación media diaria tiene dos objetivos principales:

- a) Establecer una zonificación climática (proceso explicado en detalle más adelante y,
- b) Definir las relaciones de generalización.

El segundo objetivo se logra por medio del establecimiento de modelos de regresión que permiten determinar los valores de la insolación en todos aquellos sitios donde ese elemento no se ha medido en forma directa, pero que están ubicados dentro de la cuenca del Cauca Superior, o en sus alrededores.

**CUADRO 3**  
**VALORES CARACTERISTICOS DE LAS SERIES DE INSOLACION MEDIA DIARIA (HORAS Y DECIMOS) ESTACIONES CLIMATOLOGICAS DE REFERENCIA**  
**PERIODO 1951 - 1980**

No.	Nombre	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	
2	La Florida - José María Obando (Popayán)	Media Máxima	8.4	8.2	6.1	5.8	5.4	7.2	7.3	6.7	6.7	5.7	7.3	6.9	8.4
		Media	5.9	5.6	4.8	4.0	4.0	4.9	5.6	5.5	5.1	4.3	4.3	5.0	4.9
		Media Mínima	4.2	3.5	3.1	2.7	2.7	3.1	3.5	3.3	3.9	2.2	2.0	2.6	2.0
		Desviación Típica	1.02	1.20	0.74	0.70	0.69	0.98	0.92	0.74	0.79	0.91	0.94	0.94	0.57
		Coefficiente Variación	0.17	0.21	0.15	0.18	0.17	0.20	0.16	0.13	0.15	0.21	0.22	0.19	0.12
		Media Mensual - Media Anual	1.0	0.7	-0.1	-0.9	-0.9	0.0	0.7	0.6	0.2	-0.6	-0.6	0.1	
17	Palmira - Ica	Media Máxima	8.2	8.3	6.1	6.5	6.5	6.4	6.9	6.8	6.8	6.1	6.7	6.5	8.3
		Media	6.1	5.9	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
		Media Mínima	5.0	3.8	4.2	3.8	3.5	3.9	4.7	3.7	3.6	3.2	3.5	4.3	3.2
		Desviación Típica	0.74	0.88	0.49	0.58	0.59	0.59	0.59	0.66	0.63	0.65	0.67	0.59	0.26
		Coefficiente de Variación	0.12	0.15	0.09	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	0.05
		Media Mensual - Media Anual	0.7	0.5	-0.1	-0.6	-0.6	-0.2	0.4	0.3	0.0	-0.3	-0.3	0.1	
27	El Sena - Armenia	Media Máxima	7.4	6.4	5.7	5.5	4.9	5.9	7.0	6.0	5.5	5.1	4.8	5.6	7.4
		Media	4.8	4.5	4.0	3.6	3.6	4.1	5.4	5.1	4.2	3.4	3.4	4.2	4.2
		Media Mínima	2.5	2.3	2.1	2.4	2.5	2.3	3.2	3.1	2.9	1.8	1.9	1.8	1.8
		Desviación Típica	0.99	1.13	0.86	0.71	0.54	0.69	0.92	0.70	0.74	0.82	0.65	0.86	0.52
		Coefficiente de Variación	0.21	0.25	0.22	0.20	0.15	0.17	0.17	0.14	0.18	0.24	0.19	0.20	0.12
		Media Mensual - Media Anual	0.6	0.3	-0.2	-0.6	-0.6	-0.1	1.2	0.9	0.6	-0.8	-0.8	0.0	
40	Cenicafé	Media Máxima	8.2	8.0	7.0	6.2	6.1	6.5	7.3	7.2	6.8	5.8	6.0	7.3	8.2
		Media	6.3	6.1	5.4	4.6	4.5	5.0	6.0	5.9	5.2	4.6	4.8	5.6	5.3
		Media Mínima	3.9	3.4	3.8	3.3	3.3	4.2	4.3	3.9	3.6	3.1	3.2	3.4	3.1
		Desviación Típica	0.92	1.05	0.83	0.77	0.60	0.56	0.63	0.72	0.80	0.71	0.60	0.91	0.49
		Coefficiente de Variación	0.15	0.17	0.15	0.17	0.13	0.11	0.10	0.12	0.15	0.15	0.12	0.16	0.09
		Media Mensual - Media Anual	1.0	0.8	0.1	-0.7	-0.8	-0.3	0.7	0.6	-0.1	-0.7	-0.5	0.3	
47	Llanadas - Manzanares	Media Máxima	5.8	6.3	6.2	5.5	5.6	5.7	6.7	7.4	7.2	5.6	5.6	5.0	7.4
		Media	4.3	4.4	3.9	3.8	4.4	4.5	5.4	5.5	5.0	3.8	3.6	3.8	4.4
		Media Mínima	2.0	2.4	2.2	1.7	3.1	3.3	3.6	3.2	2.9	1.3	2.4	2.1	1.3
		Desviación Típica	0.87	1.11	1.01	0.89	0.64	0.54	0.61	0.81	0.97	0.97	0.81	0.81	0.52
		Coefficiente de Variación	0.20	0.25	0.26	0.23	0.14	0.12	0.11	0.15	0.19	0.26	0.22	0.21	0.12
		Media Mensual - Media Anual	-0.1	0.0	-0.5	0.6	0.0	0.1	1.0	1.1	0.6	-0.6	-0.8	-0.6	

## (Continuación Cuadro 3)

No.	Nombre	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	
48A	Granja Líbano	Media Máxima	7.2	7.6	5.9	5.3	6.5	7.3	8.1	7.8	7.8	5.7	5.5	6.3	8.1
		Media	4.9	4.9	4.2	4.1	4.6	5.2	6.2	6.3	5.6	4.2	4.0	4.4	4.9
		Media Mínima	2.9	1.8	1.9	2.3	3.7	3.7	4.2	5.0	3.9	1.9	2.9	2.7	1.8
		Desviación Típica	0.98	1.29	0.98	0.73	0.58	0.79	0.73	0.76	0.98	0.83	0.67	0.88	0.48
		Coefficiente de Variación	0.20	0.26	0.23	0.18	0.13	0.15	0.12	0.12	0.18	0.20	0.17	0.20	0.10
		Media Mensual - Media Anual	0.0	0.0	-0.7	-0.8	-0.3	0.3	1.3	1.4	0.7	-0.7	-0.9	-0.5	
50	Chapetón - Mariano Melendro (Ibagué)	Media Máximo	7.9	7.1	6.4	5.4	6.8	6.6	7.0	7.0	7.2	5.5	5.0	6.4	7.9
		Media	5.2	5.0	4.5	4.1	4.8	5.3	5.8	5.7	5.4	4.3	4.2	4.7	4.9
		Media Mínima	3.4	2.7	2.9	3.0	4.0	3.5	4.5	4.1	4.4	2.9	3.1	2.8	2.7
		Desviación Típica	1.04	1.22	0.89	0.65	0.68	0.59	0.60	0.67	0.61	0.66	0.47	0.89	0.44
		Coefficiente de Variación	0.20	0.24	0.20	0.16	0.14	0.11	0.10	0.12	0.11	0.15	0.11	0.19	0.09
		Media Mensual - Media Anual	0.3	0.1	-0.4	-0.8	-0.1	0.4	0.9	0.8	0.5	-0.6	-0.7	-0.2	
67	El Tambo - Manuel Mejía	Media Máxima	7.2	7.2	5.9	6.3	5.8	7.0	7.5	7.7	6.9	6.3	6.5	6.8	7.7
		Media	5.4	5.4	4.7	4.3	4.4	4.9	5.8	5.6	4.8	4.4	4.4	4.8	4.9
		Media Mínima	4.3	3.9	3.4	2.4	3.1	3.7	4.1	4.0	3.6	3.1	2.6	3.1	2.4
		Desviación Típica	0.78	0.74	0.66	0.83	0.70	0.77	0.85	0.75	0.76	0.75	0.80	0.86	0.48
		Coefficiente de Variación	0.14	0.14	0.14	0.19	0.16	0.16	0.15	0.13	0.16	0.17	0.18	0.18	0.10
		Media Mensual - Media Anual	0.5	0.5	-0.2	-0.6	-0.5	0.0	0.9	0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	
69	Restrepo - Julio Fernández	Media Máxima	7.2	7.5	6.7	5.8	6.0	5.8	7.1	6.5	6.6	6.1	6.2	6.2	7.5
		Media	5.7	5.6	5.2	4.4	4.6	4.9	5.7	5.6	5.2	4.7	4.6	5.1	5.1
		Media Mínima	3.7	3.4	3.9	3.2	3.0	4.0	4.1	4.2	3.8	3.2	2.7	3.2	2.7
		Desviación Típica	0.70	0.90	0.71	0.60	0.61	0.50	0.64	0.59	0.64	0.71	0.72	0.66	0.37
		Coefficiente de Variación	0.12	0.16	0.14	0.14	0.13	0.10	0.11	0.10	0.12	0.15	0.16	0.13	0.07
		Media Mensual - Media Anual	0.6	0.5	0.1	-0.7	-0.5	-0.2	0.6	0.5	0.1	-0.4	-0.5	0.0	

CUADRO 4

VALORES NORMALES MENSUALES Y ANUALES DE INSOLACION MEDIA DIARIA (HORAS Y DECIMOS)  
PERIODO 1951 - 1980

No.	Nombre de la Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
1	Paletará	3.2	3.1	2.8	2.5	2.5	2.7	3.0	3.0	2.9	2.7	2.7	2.9	2.8
2	La Florida - José María Obando	5.9	5.6	4.8	4.0	4.0	4.9	5.6	5.5	5.1	4.3	4.3	5.0	4.9
3	Aeropuerto Machangara	6.1	5.8	5.0	4.2	4.2	5.1	5.8	5.7	5.3	4.5	4.5	5.2	5.1
4	Cerro Munchique	4.2	4.2	3.6	3.3	3.4	3.8	4.6	4.4	3.7	3.4	3.4	3.7	3.8
5	Gabriel López	3.8	3.7	3.3	2.9	2.9	3.2	3.6	3.5	3.4	3.1	3.1	3.4	3.3
6	Venta de Cajibío	5.0	4.8	4.2	3.7	3.7	4.3	4.8	4.8	4.5	3.9	3.9	4.4	4.3
7	La Salvajina	5.6	5.4	4.9	4.5	4.5	4.8	5.3	5.2	5.0	4.7	4.7	5.1	5.0
8	Japio	6.1	5.9	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
10	Tacueyó	4.4	4.2	3.8	3.4	3.4	3.7	4.2	4.1	3.8	3.6	3.6	3.9	3.8
11	Ingenio Bengala	6.1	5.9	5.4	5.0	5.0	5.3	5.8	5.8	5.5	5.2	5.2	5.6	5.5
13	Ingenio Cauca	5.6	5.3	4.8	4.4	4.4	4.8	5.2	5.1	4.9	4.7	4.7	5.0	4.9
14	Miranda	5.3	5.1	4.5	4.0	4.0	4.4	5.0	4.9	4.6	4.3	4.3	4.7	4.6
15	Universidad del Valle	6.0	5.8	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
16	Aeropuerto Palmaseca	6.4	6.2	5.5	5.0	5.0	5.4	6.0	6.0	5.6	5.3	5.3	5.8	5.6
17	Palmira - Ica	6.1	5.9	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
18	Tenerife	5.0	4.8	4.2	3.7	3.7	4.1	4.7	4.6	4.3	4.0	4.0	4.4	4.3
19	Balboa - Ica	5.8	5.6	5.2	4.8	4.8	5.1	5.6	5.5	5.2	5.0	5.0	5.3	5.2
20	Trujillo - Manuel Mallarino	5.6	5.3	4.9	4.6	4.6	5.0	6.0	5.8	5.1	4.4	4.4	5.1	5.1
22	Tierra Blanca	6.6	6.4	6.1	5.8	5.8	6.1	6.9	6.7	6.2	5.7	5.7	6.2	6.2
23	Centro Administrativo RUT	6.5	6.4	6.1	5.8	5.8	6.1	6.9	6.7	6.2	5.7	5.7	6.2	6.2
24	Cumbarco	4.6	4.3	3.9	3.6	3.6	4.0	5.1	4.8	4.1	3.4	3.4	4.1	4.1
25	Paraguaycito	6.1	5.9	5.3	4.5	4.4	4.9	5.8	5.7	5.1	4.5	4.7	5.5	5.2
27	El Sena	4.8	4.5	4.0	3.6	3.6	4.1	5.4	5.1	4.2	3.4	3.4	4.2	4.2
38	Arturo Gómez	5.8	5.6	5.3	5.0	5.0	5.3	6.2	6.0	5.4	4.8	4.8	5.4	5.4
29	La Joya	6.3	6.2	5.7	5.1	5.0	5.4	6.1	6.0	5.5	5.1	5.2	5.8	5.6
31	Universidad Tecnológica de Pereira	6.0	5.8	5.1	4.3	4.2	4.7	5.7	5.6	4.9	4.3	4.5	5.3	5.0
32	La Bohemia	6.6	6.5	6.0	5.5	5.4	5.8	6.4	6.4	5.9	5.5	5.6	6.2	6.0
33	El Cedral	3.8	3.6	3.0	2.4	2.3	2.7	3.5	3.4	2.8	2.4	2.5	3.2	3.0
34	Dos Quebradas - La Rosa	5.7	5.5	4.9	4.2	4.1	4.5	5.4	5.3	4.7	4.2	4.4	5.1	4.8
35	El Jazmín - Pedro Uribe	5.6	5.4	4.7	4.0	3.9	4.4	5.3	5.2	4.5	4.0	4.2	4.9	4.6
36	Ingenio San Francisco	7.0	6.9	6.5	6.0	5.9	6.2	6.8	6.7	6.3	6.0	6.1	6.6	6.4
37	La Cecilia	6.3	6.2	5.6	5.0	5.0	5.4	6.1	6.0	5.5	5.0	5.2	5.8	5.6
38	La Camelia	6.0	5.8	5.0	4.2	4.1	4.6	5.7	5.6	4.8	4.2	4.4	5.2	5.0
39	Bellavista	4.9	4.8	4.1	3.4	3.3	3.8	4.7	4.6	4.0	3.4	3.6	4.3	4.1
40	Chinchiná - Cenicafe	6.3	6.1	5.4	4.6	4.5	5.0	6.0	5.9	5.2	4.6	4.8	5.6	5.3
41	Naranjal	6.0	5.8	5.0	4.2	4.1	4.6	5.7	5.6	4.8	4.2	4.4	5.2	5.0
42	Facultad de Agronomía - Manizales	5.8	5.7	4.8	4.0	3.9	4.4	5.5	5.4	4.6	4.0	4.2	5.1	4.8
43	Aeropuerto La Nubia	5.9	5.7	4.9	4.1	4.0	4.5	5.6	5.5	4.7	4.1	4.3	5.2	4.9
44	Santágueda - Luker	7.2	7.0	6.3	5.6	5.5	6.0	6.9	6.8	6.1	5.6	5.8	6.5	6.3
45	Santágueda - Facultad	6.8	6.6	6.0	5.4	5.3	5.7	6.5	6.4	5.8	5.4	5.5	6.2	6.0
47	Llanadas	4.3	4.4	3.9	3.8	4.4	4.5	5.4	5.5	5.0	3.8	3.6	3.8	4.4
48A	Granja Líbano	4.9	4.9	4.2	4.1	4.6	5.2	6.2	6.3	5.6	4.2	4.0	4.4	4.9
48B	La Trinidad	4.5	4.6	4.0	3.9	4.6	4.8	5.9	6.0	5.4	3.9	3.6	3.9	4.6
49	El Paso	2.5	2.6	2.4	2.0	2.2	2.5	2.9	2.8	2.5	2.1	2.0	2.2	2.4
50	Chapetón - Mariano Melendro	5.2	5.0	4.5	4.1	4.8	5.3	5.8	5.7	5.4	4.3	4.2	4.7	4.9
51	Cajamarca	4.8	4.7	4.4	4.2	4.6	4.9	5.2	5.1	5.0	4.3	4.3	4.6	4.7
52	Varsovia	6.0	5.9	5.6	5.4	5.8	6.1	6.4	6.4	6.2	5.5	5.4	5.7	5.9
53	San Antonio	5.5	5.4	5.1	4.9	5.3	5.6	5.9	5.8	5.6	5.0	4.9	5.2	5.4
54	Granja Demostración Chaparral	5.5	5.4	5.0	4.7	5.2	5.6	6.0	5.9	5.7	4.9	4.8	5.2	5.3
55	El Limón	5.1	4.9	4.5	4.2	4.8	5.2	5.6	5.5	5.3	4.4	4.3	4.7	4.9
56	Mesa de Pole	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.3	5.7	5.6	5.4	5.3	5.3	5.5	5.4
57	Aeropuerto Planadas	4.2	4.1	3.8	3.6	4.0	4.3	4.6	4.5	4.4	3.7	3.6	3.9	4.0
58	Toeza	4.2	4.0	3.4	3.0	3.0	3.3	3.9	3.8	3.5	3.2	3.2	3.6	3.5
59	Escuela Agropecuaria La Plata	4.6	4.5	4.1	3.7	3.7	4.2	4.5	4.5	4.3	3.9	3.9	4.2	4.2
60	Valencia	3.6	3.5	3.1	2.7	2.7	3.1	3.5	3.4	3.2	2.8	2.8	3.2	3.1
61	Parque Arqueológico San Agustín	5.3	5.0	4.4	3.8	3.8	4.5	5.0	5.0	4.6	4.0	4.0	4.6	4.5
62	Sevilla - Quindío	5.0	4.8	4.4	4.0	4.0	4.4	4.8	4.8	4.6	4.2	4.2	4.5	4.5

No.	Nombre de la Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
63	Mercaderes	5.9	5.9	5.3	5.0	5.1	6.2	6.0	6.0	5.4	5.1	5.1	5.4	5.5
64	Bolívar	5.4	5.4	4.7	4.3	4.4	4.9	5.8	5.6	4.8	4.4	4.4	4.8	4.9
65	Sajandi - La Fonda	6.2	6.2	5.7	5.5	5.6	5.9	6.5	6.3	5.8	5.6	5.6	5.8	5.9
66	La Sierra	4.6	4.6	3.9	3.4	3.6	4.1	5.0	4.8	4.0	3.6	3.6	4.0	4.1
67	El Tambo - Manuel Mejía	5.4	5.4	4.7	4.3	4.4	4.9	5.8	5.6	4.8	4.4	4.4	4.8	4.9
68	La Cumbre	5.4	5.3	4.9	4.3	4.4	4.7	5.4	5.3	4.9	4.5	4.4	4.8	4.8
69	Restrepo - Julio Fernández	5.7	5.6	5.2	4.4	4.6	4.9	5.7	5.6	5.2	4.7	4.6	5.1	5.1
70	La Cuchilla el Recreo	5.3	5.0	4.6	4.3	4.3	4.7	5.8	5.5	4.8	4.2	4.2	4.8	4.8
71	Sub-estación Albán	4.6	4.3	3.8	3.4	3.4	3.9	5.1	4.8	4.0	3.2	3.2	4.0	4.0
72	San José del Palmar	3.3	3.1	2.8	2.6	2.6	2.9	3.7	3.5	3.0	2.5	2.5	3.0	3.0
73	Pueblo Rico	4.9	4.7	4.2	3.6	3.5	3.9	4.6	4.6	4.0	3.6	3.7	4.3	4.1

La determinación de los modelos de regresión se efectúa estableciendo la relación entre los valores de insolación que figuran en el cuadro 4, y los diferentes factores climáticos (latitud, altitud, topografía, posición de las cordilleras, etc.).

No fue posible establecer una relación (ni lineal, ni exponencial, ni logarítmica, ni potencial) entre las variables de duración de la insolación y de la latitud, puesto que ningún coeficiente de correlación resultó superior a 0.20. Se formularon 36 modelos distintos tratando de establecer una relación entre esas variables y, el fracaso en todos los casos, nos permite asegurar, sin duda, que la influencia del factor latitud no es, por sí sola, significativa para determinar los valores de la duración de la insolación en la cuenca del Cauca Superior.

El paso siguiente consistió en tratar de establecer modelos de regresión que relacionaran dicha variable con el factor altitud, para lo cual se realizaron los análisis de la variación espacial de la duración de la insolación. Los resultados nos permiten concluir, sin lugar a dudas, que la duración de la insolación depende en gran medida de la altitud y que esa dependencia en las regiones montañosas predomina sobre los demás factores y elementos. Esto está corroborado por el hecho de que en los diferentes modelos de regresión en los cuales se hizo intervenir la altitud se lograron coeficientes de correlación óptimos.

Aplicando este criterio, se procedió, entonces, a dividir la cuenca del Cauca Superior y sus alrededores, en diferentes zonas, tipificada cada una de ellas por sus factores de altitud, latitud y características topográficas.

Diferentes zonificaciones dieron lugar a modelos de regresión (lineal, exponencial, logarítmica y potencial) y coeficientes de correlación, diferentes. Sin embargo, el afinamiento paulatino permitió alcanzar la zonificación óptima de la Fig. 5, lo mismo que los modelos de regresión lineal, para cada mes y para cada zona, que se presentan en los cuadros 5 a 12.

Los modelos de regresión lineal fueron seleccionados tratando de que fueran los que más adecuadamente representaran la relación entre las dos variables cuantitativas que se incluyen en las ecuaciones que asocian la duración de la insolación media diaria (horas y décimas) y la altitud (metros). Se verificó, también, que los coeficientes de correlación o regresión en cada modelo fueran altamente significativos.

El proceso anterior permitió el establecimiento de tres zonas (enumeradas uno a tres) ubicadas dentro del área de la cuenca del Cauca Superior y cuatro en los alrededores. De estas últimas, la número cuatro se ubica al norte, y corresponde a la cuenca del Cauca medio; la cinco al oriente y pertenece a la cuenca del alto Magdalena; la seis situada al sur y corresponde a la cuenca del río Patía y alrededores y, la séptima se localiza al occidente en la vertiente del Pacífico.

Para cada una de las zonas, la variación territorial de la duración de la insolación media diaria está expresada por trece ecuaciones de regresión lineal (una para cada mes y una para el promedio anual), que aunque diferentes entre sí, son muy similares (cuadros 5 a 12).

A excepción de lo que se observa para la zona VII, (vertiente del Pacífico), las ecuaciones de regresión permiten ver que la insolación es inversamente proporcional a la altitud, hasta elevaciones aproximadas a 3.500 metros (sector de ubicación de las nubes bajas y medias). Aunque los datos no lo muestran, por cuanto la estación climatológica más alta tiene 3.264 metros de elevación, es dable suponer que el gradiente se invierte para altitudes superiores a los 3.500 metros y, por lo tanto, a partir de este nivel, la insolación aumentará con la altura, de acuerdo con la disminución de la cantidad de nubosidad y las características de las nubes que se encuentran a esas alturas. Ese aumento es muy posible que se haga con un gradiente similar al de la zona siete.



CUADRO 5

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

## ZONA UNO

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=8.33 - 1.556 \times 10^{-3} X$	0.87
Febrero	$Y=7.93 - 1.437 \times 10^{-3} X$	0.86
Marzo	$Y=6.82 - 1.217 \times 10^{-3} X$	0.89
Abril	$Y=5.74 - 0.956 \times 10^{-3} X$	0.87
Mayo	$Y=5.73 - 0.936 \times 10^{-3} X$	0.84
Junio	$Y=7.04 - 1.274 \times 10^{-3} X$	0.86
Julio	$Y=7.95 - 1.395 \times 10^{-3} X$	0.80
Agosto	$Y=7.86 - 1.396 \times 10^{-3} X$	0.83
Septiembre	$Y=7.27 - 1.335 \times 10^{-3} X$	0.90
Octubre	$Y=6.06 - 1.016 \times 10^{-3} X$	0.89
Noviembre	$Y=6.06 - 1.016 \times 10^{-3} X$	0.89
Diciembre	$Y=7.10 - 1.276 \times 10^{-3} X$	0.89
Año	$Y=6.98 - 1.236 \times 10^{-3} X$	0.86

CUADRO 6

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

## ZONA DOS

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=6.83 - 0.951 \times 10^{-3} X$	0.87
Febrero	$Y=6.58 - 0.914 \times 10^{-3} X$	0.86
Marzo	$Y=6.00 - 0.875 \times 10^{-3} X$	0.88
Abril	$Y=5.54 - 0.865 \times 10^{-3} X$	0.89
Mayo	$Y=5.54 - 0.865 \times 10^{-3} X$	0.89
Junio	$Y=5.92 - 0.882 \times 10^{-3} X$	0.88
Julio	$Y=6.50 - 0.914 \times 10^{-3} X$	0.87
Agosto	$Y=6.43 - 0.929 \times 10^{-3} X$	0.86
Septiembre	$Y=6.08 - 0.875 \times 10^{-3} X$	0.87
Octubre	$Y=5.82 - 0.882 \times 10^{-3} X$	0.88
Noviembre	$Y=5.82 - 0.882 \times 10^{-3} X$	0.88
Diciembre	$Y=6.23 - 0.912 \times 10^{-3} X$	0.87
Año	$Y=6.12 - 0.904 \times 10^{-3} X$	0.87

En la vertiente del Pacífico, dado el número reducido de estaciones y las altitudes a que ellas se encuentran ubicadas (1.000 a 1.600 metros), es muy difícil asegurar que los modelos de regresión encontrados puedan hacerse extensivos a otras altitudes. Sin embargo, teniendo en cuenta esos modelos de regresión y las conclusiones de otros estudios meteorológicos relacionados con la precipitación en esa zona, (SCMH 1975, Oster 1979), puede llegarse a las siguientes conclusiones cualitativas relacionadas con la posible variación de la insolación con la altitud:

CUADRO 7

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

## ZONA TRES

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=8.10 - 1.781 \times 10^{-3} X$	0.97
Febrero	$Y=7.76 - 1.672 \times 10^{-3} X$	0.94
Marzo	$Y=7.26 - 1.599 \times 10^{-3} X$	0.93
Abril	$Y=6.84 - 1.592 \times 10^{-3} X$	0.92
Mayo	$Y=6.69 - 1.491 \times 10^{-3} X$	0.91
Junio	$Y=7.09 - 1.508 \times 10^{-3} X$	0.93
Julio	$Y=8.23 - 1.678 \times 10^{-3} X$	0.98
Agosto	$Y=8.00 - 1.652 \times 10^{-3} X$	0.98
Septiembre	$Y=7.27 - 1.558 \times 10^{-3} X$	0.94
Octubre	$Y=6.62 - 1.514 \times 10^{-3} X$	0.90
Noviembre	$Y=6.74 - 1.578 \times 10^{-3} X$	0.91
Diciembre	$Y=7.58 - 1.735 \times 10^{-3} X$	0.95
Año	$Y=7.36 - 1.615 \times 10^{-3} X$	0.95

CUADRO 8

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

## ZONAS UNO A TRES – CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=7.32 - 1.224 \times 10^{-3} X$	0.87
Febrero	$Y=7.02 - 1.152 \times 10^{-3} X$	0.86
Marzo	$Y=6.47 - 1.120 \times 10^{-3} X$	0.88
Abril	$Y=5.98 - 1.097 \times 10^{-3} X$	0.88
Mayo	$Y=5.92 - 1.057 \times 10^{-3} X$	0.87
Junio	$Y=6.34 - 1.061 \times 10^{-3} X$	0.86
Julio	$Y=7.13 - 1.131 \times 10^{-3} X$	0.83
Agosto	$Y=7.00 - 1.127 \times 10^{-3} X$	0.84
Septiembre	$Y=6.53 - 1.095 \times 10^{-3} X$	0.87
Octubre	$Y=6.08 - 1.083 \times 10^{-3} X$	0.88
Noviembre	$Y=6.12 - 1.102 \times 10^{-3} X$	0.88
Diciembre	$Y=6.72 - 1.185 \times 10^{-3} X$	0.88
Año	$Y=6.56 - 1.128 \times 10^{-3} X$	0.88

- A diferencia de las demás zonas, la insolación aumenta con la altitud según lo indican los modelos de regresión (cuadro 12), que son aplicables para altitudes superiores a los 600 metros, (el óptimo pluviométrico de la zona se encuentra próximo a esta elevación) y,
- Entre el nivel del mar y los 600 metros de elevación la insolación disminuye con la altitud, con gradientes muy similares a los que determinan los modelos de regresión para la zona VI.

CUADRO 9

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

## ZONA CUATRO

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=8.26 - 1.532 \times 10^{-3} X$	0.79
Febrero	$Y=8.11 - 1.540 \times 10^{-3} X$	0.79
Marzo	$Y=7.70 - 1.716 \times 10^{-3} X$	0.84
Abril	$Y=7.18 - 1.838 \times 10^{-3} X$	0.86
Mayo	$Y=7.12 - 1.855 \times 10^{-3} X$	0.87
Junio	$Y=7.47 - 1.790 \times 10^{-3} X$	0.86
Julio	$Y=8.04 - 1.565 \times 10^{-3} X$	0.80
Agosto	$Y=7.97 - 1.582 \times 10^{-3} X$	0.80
Septiembre	$Y=7.54 - 1.731 \times 10^{-3} X$	0.85
Octubre	$Y=7.18 - 1.838 \times 10^{-3} X$	0.86
Noviembre	$Y=7.31 - 1.809 \times 10^{-3} X$	0.86
Diciembre	$Y=7.81 - 1.651 \times 10^{-3} X$	0.82
Año	$Y=7.63 - 1.691 \times 10^{-3} X$	0.84

CUADRO 10

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

## ZONA CINCO

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=6.30 - 1.016 \times 10^{-3} X$	0.86
Febrero	$Y=6.15 - 0.979 \times 10^{-3} X$	0.88
Marzo	$Y=5.72 - 0.976 \times 10^{-3} X$	0.88
Abril	$Y=5.51 - 1.034 \times 10^{-3} X$	0.88
Mayo	$Y=5.97 - 1.130 \times 10^{-3} X$	0.85
Junio	$Y=6.32 - 1.115 \times 10^{-3} X$	0.84
Julio	$Y=6.78 - 1.092 \times 10^{-3} X$	0.80
Agosto	$Y=6.77 - 1.112 \times 10^{-3} X$	0.79
Septiembre	$Y=6.52 - 1.138 \times 10^{-3} X$	0.84
Octubre	$Y=5.68 - 1.057 \times 10^{-3} X$	0.89
Noviembre	$Y=5.58 - 1.045 \times 10^{-3} X$	0.88
Diciembre	$Y=5.91 - 1.037 \times 10^{-3} X$	0.86
Año	$Y=6.11 - 1.066 \times 10^{-3} X$	0.88

En el futuro, se harán necesarios estudios específicos para las zonas cuatro a siete, ya que solo ellos podrán verificar con precisión los resultados que, por ahora, pueden considerarse como preliminares, puesto que para llegar a ellos solo se utilizó la información de las estaciones ubicadas en las áreas limítrofes con la cuenca del Cauca Superior.

Los modelos de regresión establecidos para la cuenca del Cauca Superior permiten determinar con suficiente exactitud, los valores medios de duración de la insolación diaria para cada uno de

CUADRO 11

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

## ZONA SEIS

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=7.24 - 1.244 \times 10^{-3} X$	0.93
Febrero	$Y=7.24 - 1.244 \times 10^{-3} X$	0.93
Marzo	$Y=6.86 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95
Abril	$Y=6.85 - 1.680 \times 10^{-3} X$	0.96
Mayo	$Y=6.88 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.96
Junio	$Y=7.47 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.87
Julio	$Y=7.33 - 1.081 \times 10^{-3} X$	0.91
Agosto	$Y=7.25 - 1.136 \times 10^{-3} X$	0.91
Septiembre	$Y=6.96 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95
Octubre	$Y=6.88 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.96
Noviembre	$Y=6.88 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.96
Diciembre	$Y=6.96 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95
Año	$Y=7.06 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95

CUADRO 12

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION  
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

## ZONA SIETE

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=-0.26+3.598 \times 10^{-3} X$	0.78
Febrero	$Y=-0.41+3.563 \times 10^{-3} X$	0.74
Marzo	$Y=-0.51+3.338 \times 10^{-3} X$	0.72
Abril	$Y=-0.42+2.934 \times 10^{-3} X$	0.77
Mayo	$Y=-0.33+2.900 \times 10^{-3} X$	0.70
Junio	$Y=-0.14+3.017 \times 10^{-3} X$	0.74
Julio	$Y=+0.60+3.119 \times 10^{-3} X$	0.73
Agosto	$Y=+0.34+3.187 \times 10^{-3} X$	0.76
Septiembre	$Y=-0.005+3.030 \times 10^{-3} X$	0.70
Octubre	$Y=-0.66+3.115 \times 10^{-3} X$	0.69
Noviembre	$Y=-0.68+3.116 \times 10^{-3} X$	0.72
Diciembre	$Y=-0.14+3.134 \times 10^{-3} X$	0.76
Año	$Y=-0.02+3.031 \times 10^{-3} X$	0.73

los meses y también para el año, para cualquier sitio ubicado en la cuenca, a condición de conocer su ubicación geográfica y su altitud. Por lo tanto, resulta innecesario determinar el campo escalar de la insolación por medio de isopletras. No obstante, de ser necesaria esta representación gráfica, para cada zona, bastaría con reemplazar los valores de las curvas de nivel por los correspondientes valores de duración de la insolación diaria, a nivel mensual y a nivel anual. Estos valores pueden obtenerse con las ecuaciones matemáticas que figuran en los cuadros 5 a 12.

## 4.2 Variación temporal

En meteorología para realizar un análisis adecuado; debe indicarse el régimen normal de los elementos; es decir debe establecerse la distribución más común y sus características más frecuentes a través del año. Todo lo anterior debe basarse en datos medios mensuales y anuales obtenidos a través de largos períodos de observaciones, generalmente no inferiores a 30 años.

La información en que se basa el presente estudio contempla 30 años de observaciones (1951 a 1980), por lo tanto, resulta factible el establecimiento de la distribución más común durante el año; es decir, es posible la determinación de valores normales y el régimen normal.

Con el fin de establecer la variación de la duración de la insolación, se compararon los valores medios mensuales con el anual, por medio de gráficas elaboradas para cada una de las series de datos. En dichas gráficas se presentan las diferencias entre el valor de cada mes y el valor anual. El valor cero simboliza el valor medio anual, los valores positivos corresponden a aquellos meses cuyo valor medio supera al anual y los negativos a aquellos meses cuyo valor medio es inferior al anual. Obviamente muchas de esas gráficas resultaron similares y pudieron ser agrupadas según su similitud. Teniendo como base las gráficas elaboradas para las estaciones climatológicas de referencia, se pudo comprobar que ellas representan satisfactoriamente, el régimen normal para todas y cada una de las otras estaciones ubicadas en su zona de influencia, que fue establecida para las variaciones de la insolación con la altitud. Se obtuvieron también, las mismas siete grandes zonas, aunque fue necesario subdividir la zona cinco en dos sectores, con régimen normal muy parecido, de todas formas.

En la figura 15 se muestra la zonificación correspondiente y la variación de la duración de la

insolación media diaria-mensual respecto al valor medio diario-anual. De esta figura y de aquellas enumeradas de 6 a 14, que representan valores de las estaciones climatológicas de referencia, se puede concluir la distribución y características principales del régimen normal de la insolación para todas las zonas.

Dentro de esta perspectiva, para la cuenca del Cauca Superior, en especial, puede anotarse lo siguiente:

- La variación de la insolación mensual dentro del año presenta rasgos generales muy semejantes.
- El régimen normal se caracteriza por una distribución bimodal, es decir dos períodos de máxima insolación (enero-febrero y julio-agosto) y dos períodos de mínima insolación (abril-mayo y octubre-noviembre).
- Los períodos de máxima y mínima insolación coinciden, perfectamente, con las épocas menos lluviosas y más lluviosas, respectivamente.
- Los valores medios mensuales oscilan muy cerca del valor medio anual, aunque se alejan de éste en los casos extremos: en + 1.2, en la zona tres, mes de julio, y -0.9, en la zona uno, en abril y mayo.
- Los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre presentan valores muy similares al anual y, es de anotar que esos meses corresponden a aquellos en que se presentan los equinoccios y los solsticios.

Los modelos de regresión establecidos para la cuenca del Cauca Superior permiten determinar con suficientes exactitud, los valores medios de duración de la insolación diaria para cada uno de los meses y también para el año; esto para cualquier sitio ubicado en la cuenca, con la sola condición de conocer su ubicación geográfica y su altitud.

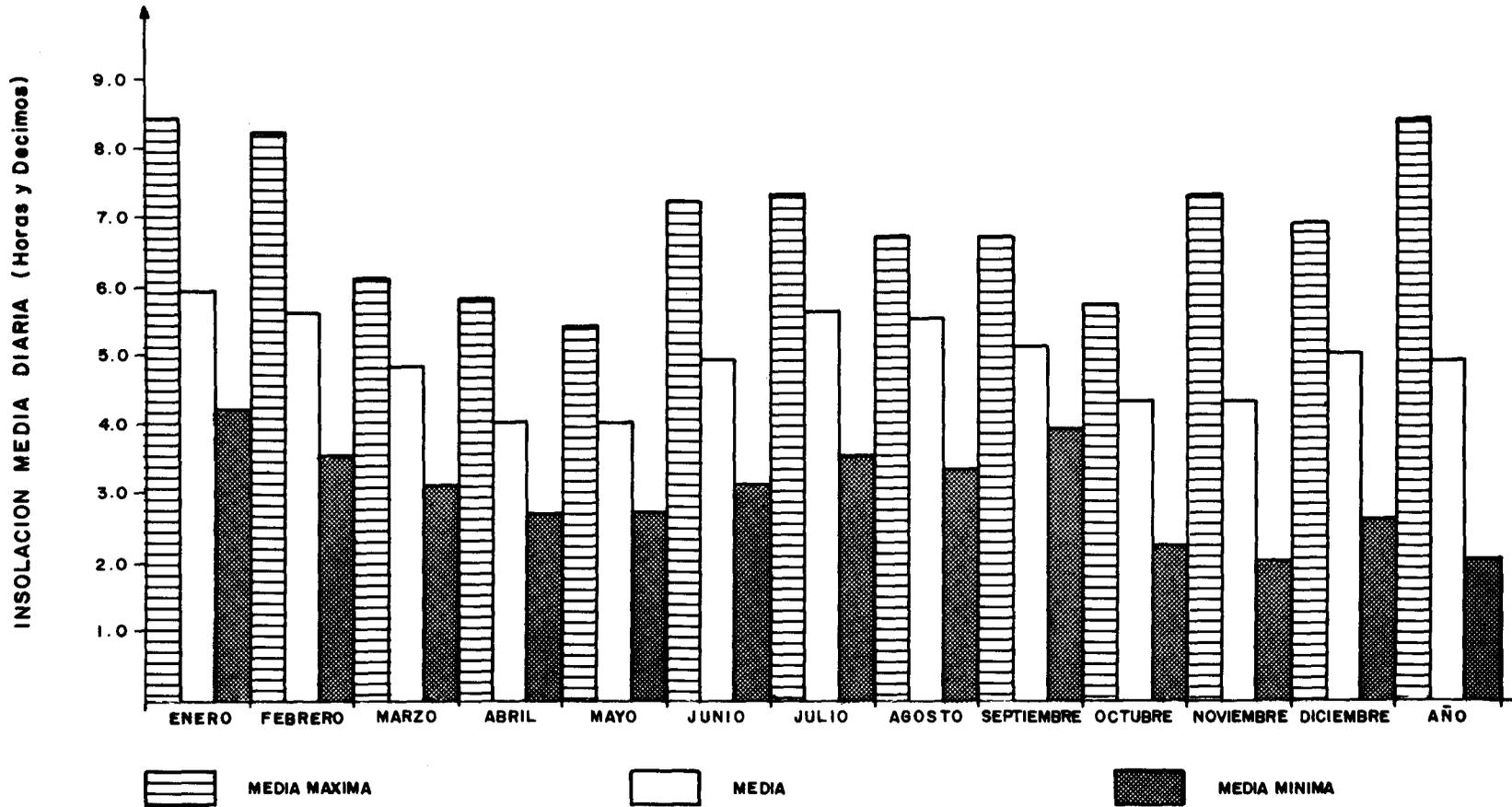
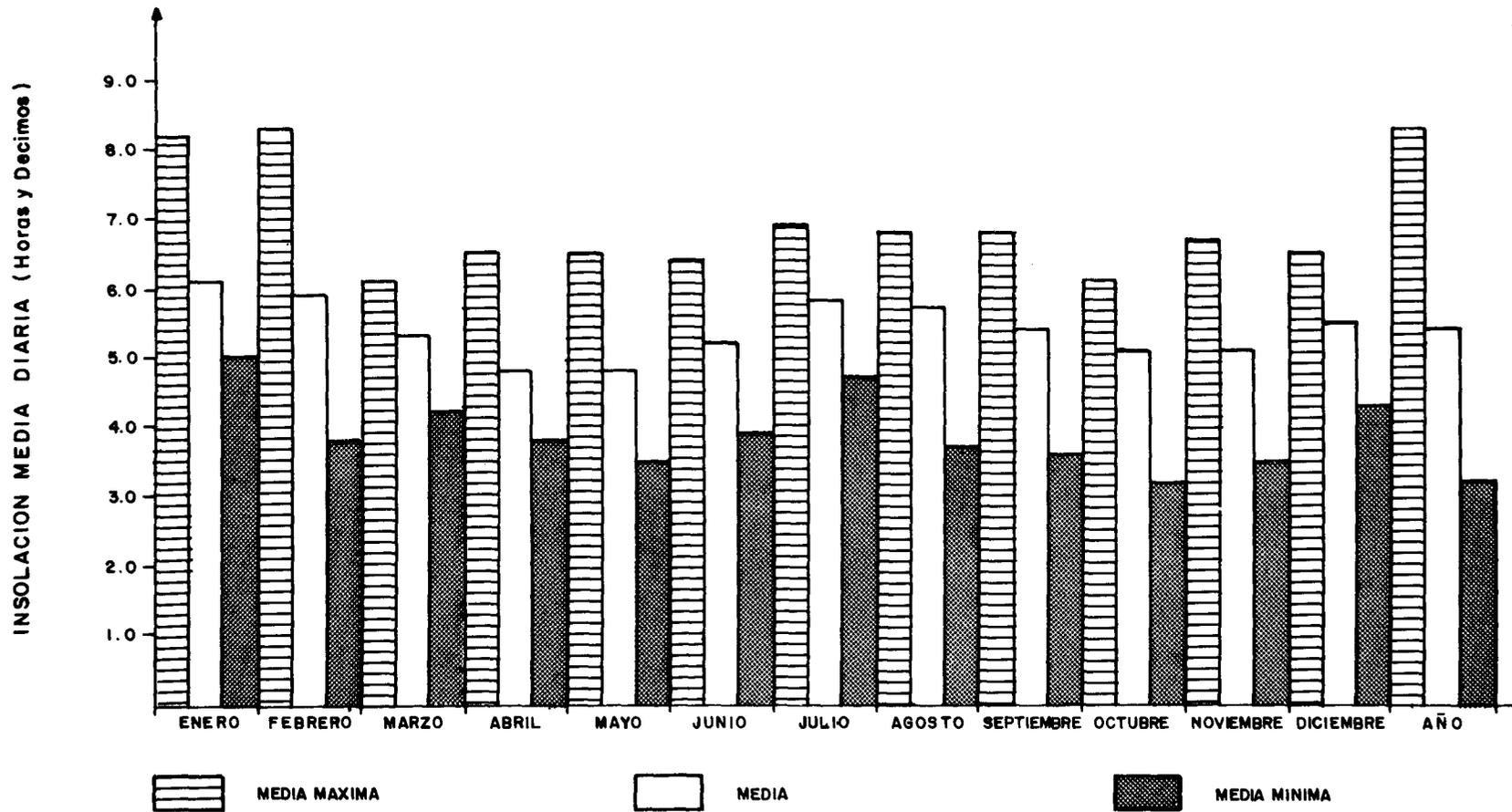
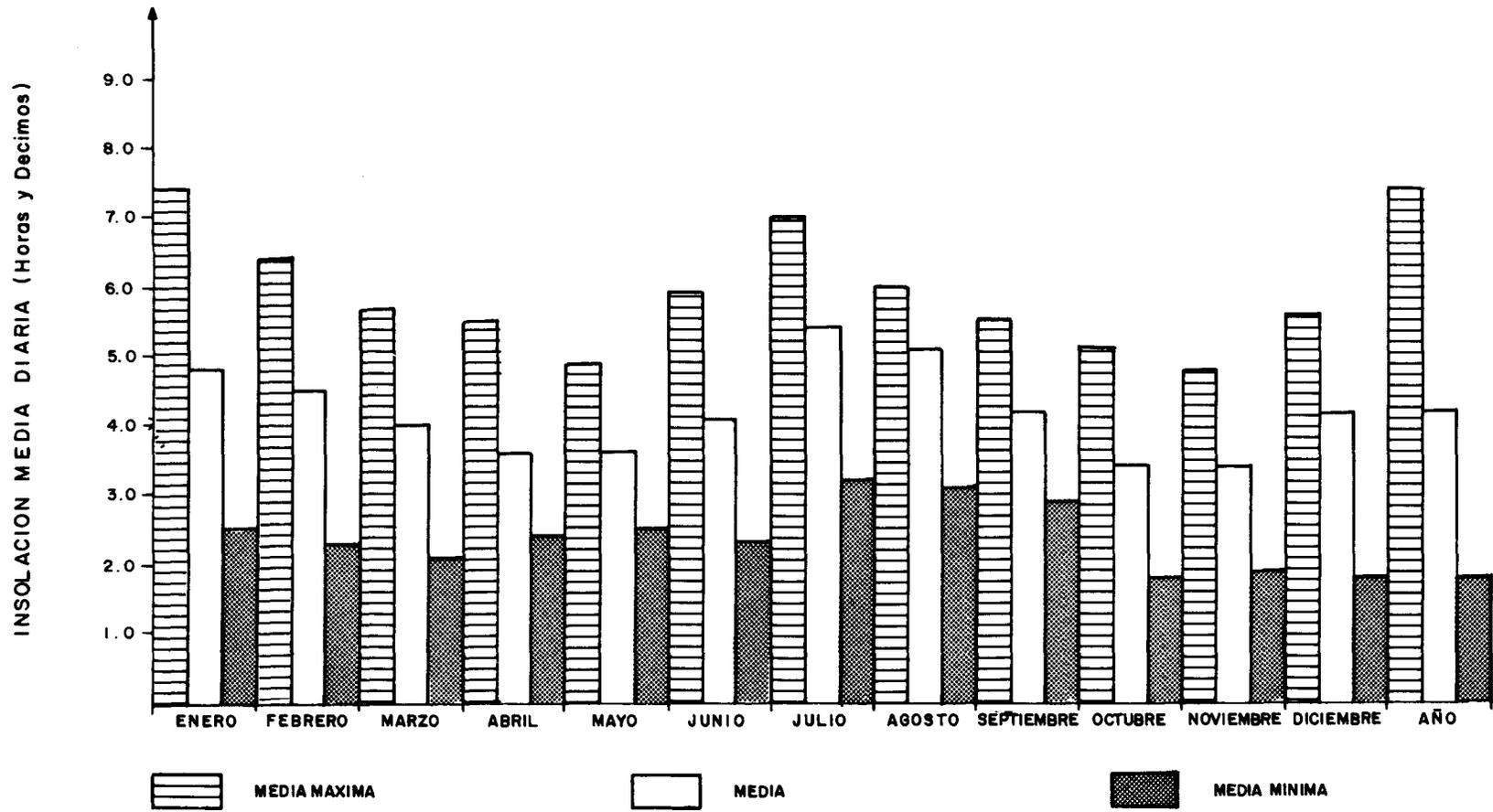


Fig. 6 VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION LA FLORIDA—JOSE MARIA OBANDO (POPAYAN) ZONA I



**Fig. 7. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
ESTACION PALMIRA — ZONA II**



**Fig. 8. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA**

**ESTACION EL SENA — ARMENIA ZONA III**

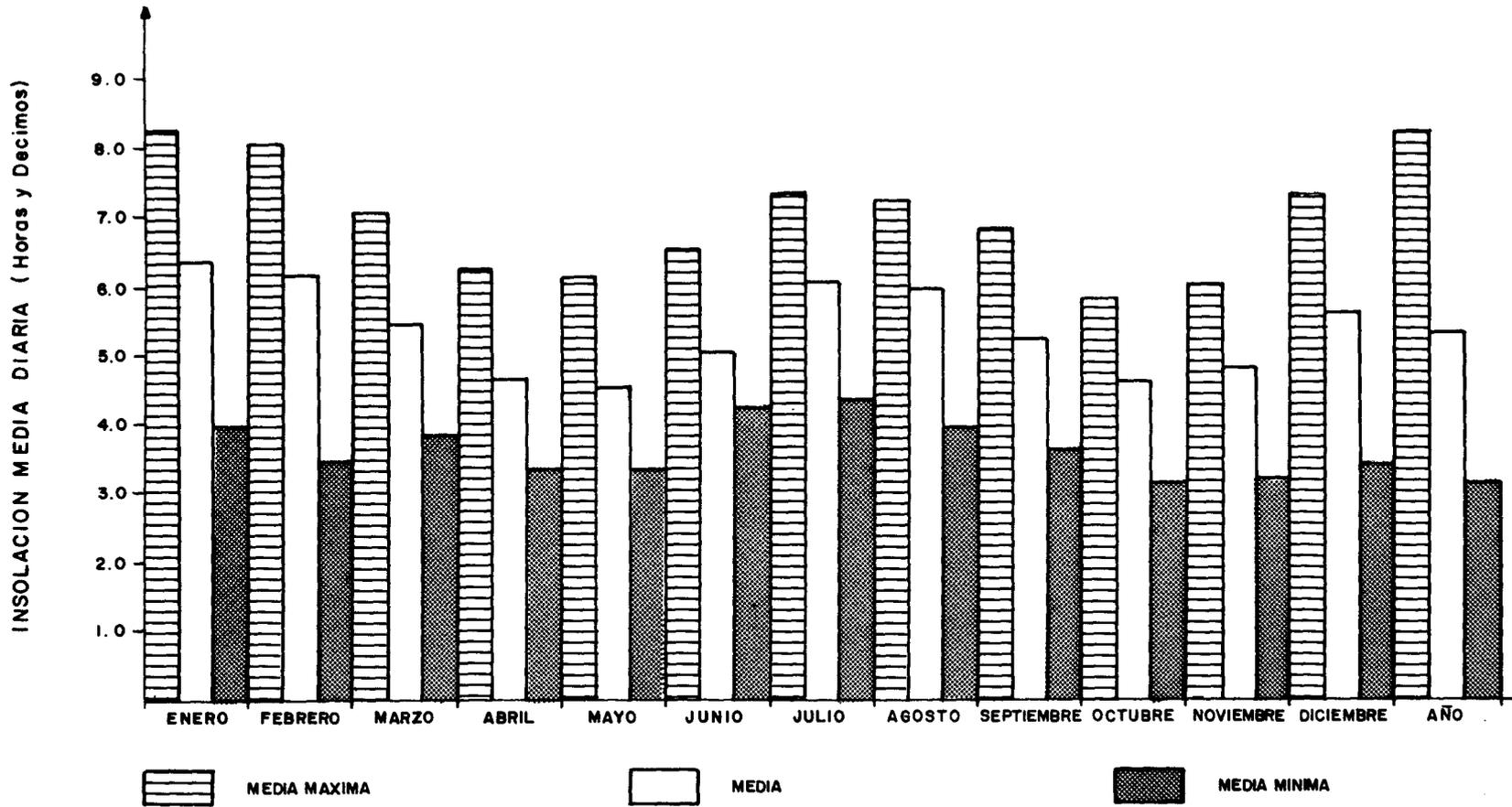


Fig. 9. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION CENICAFE — CHINCHINA ZONA IV

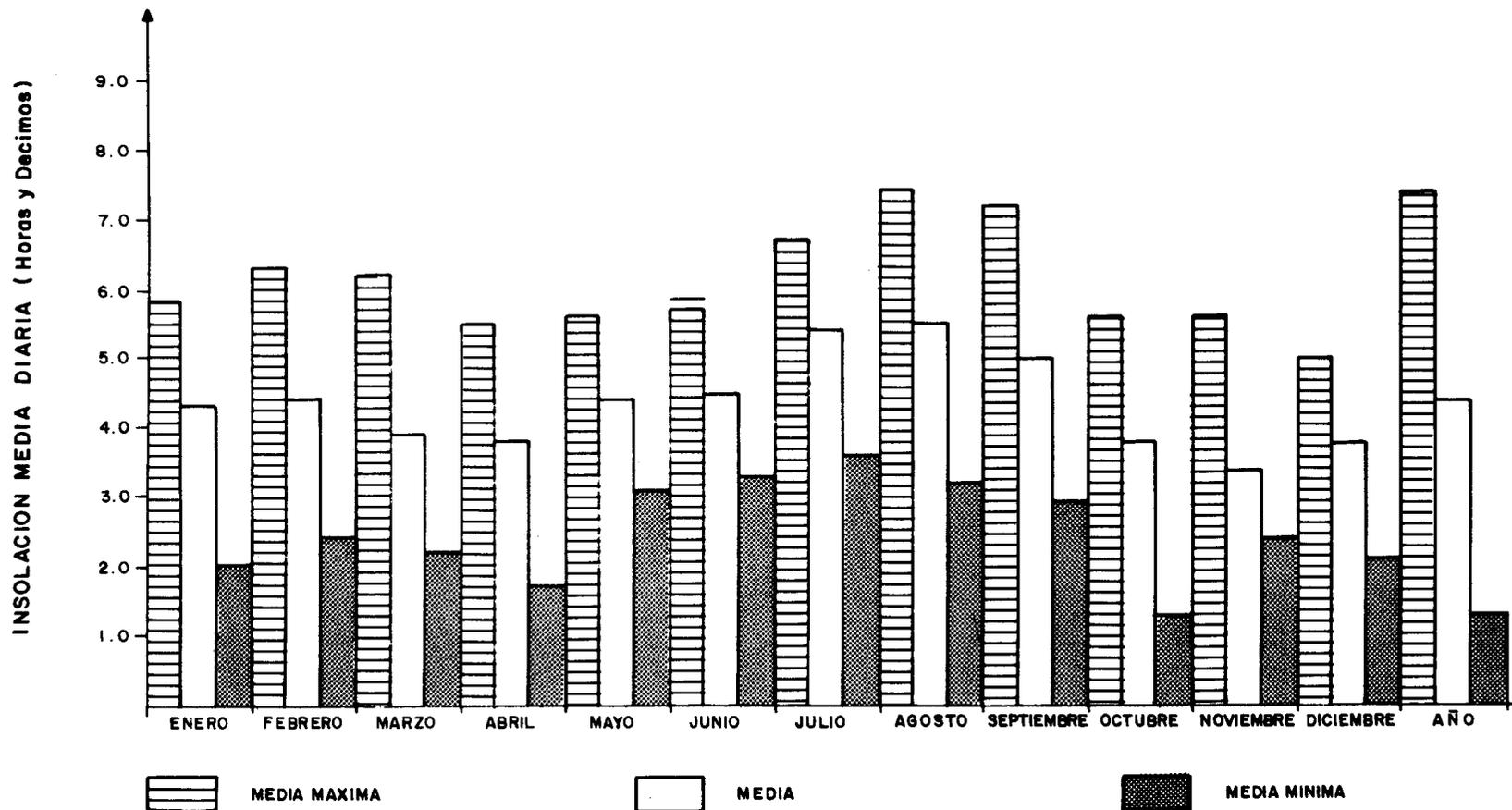
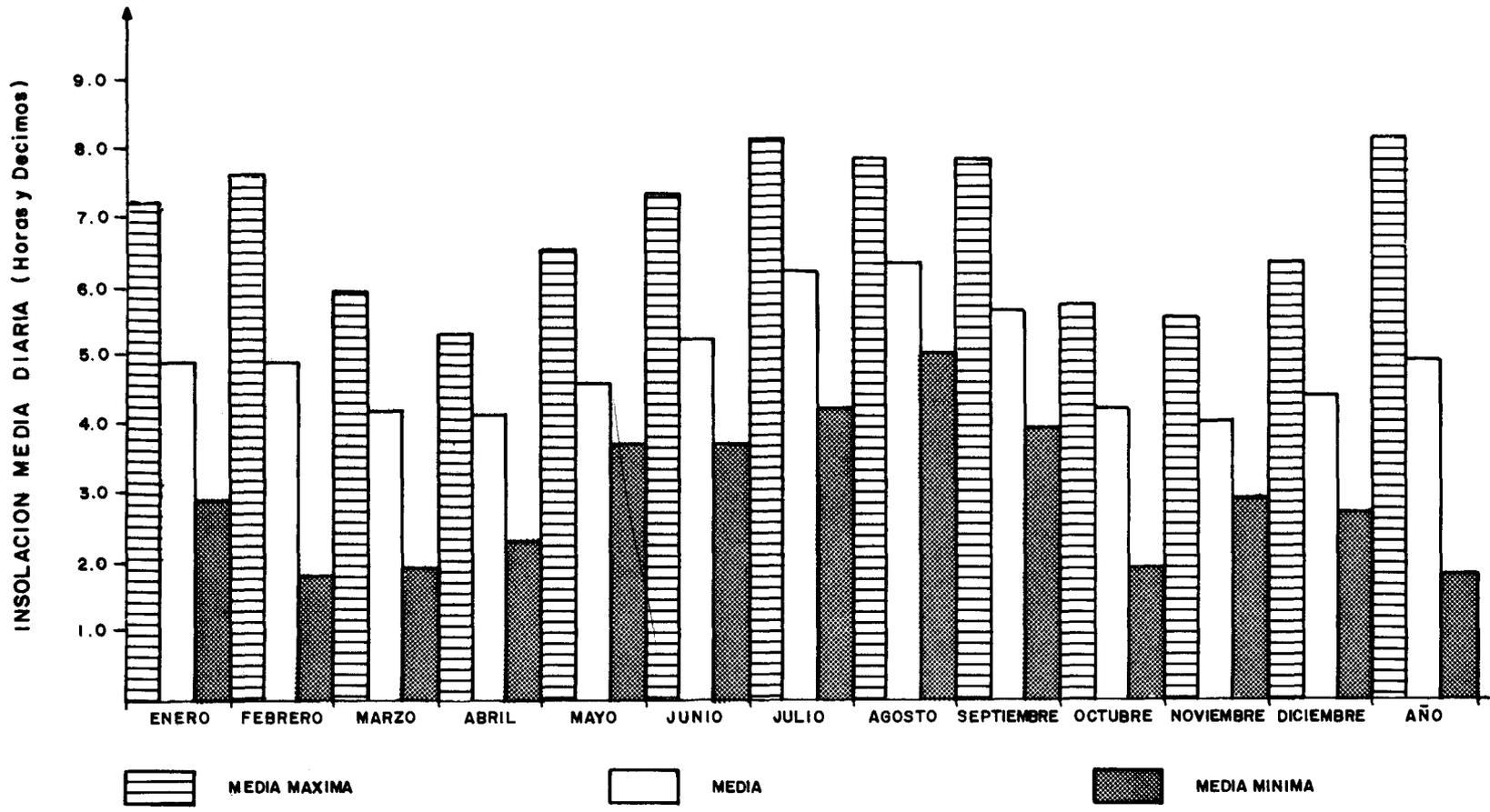


Fig 10 VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION LLANADAS — MANZANARES ZONA YA



**Fig. 11 VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA**

**ESTACION GRANJA — LIBANO ZONA YB**

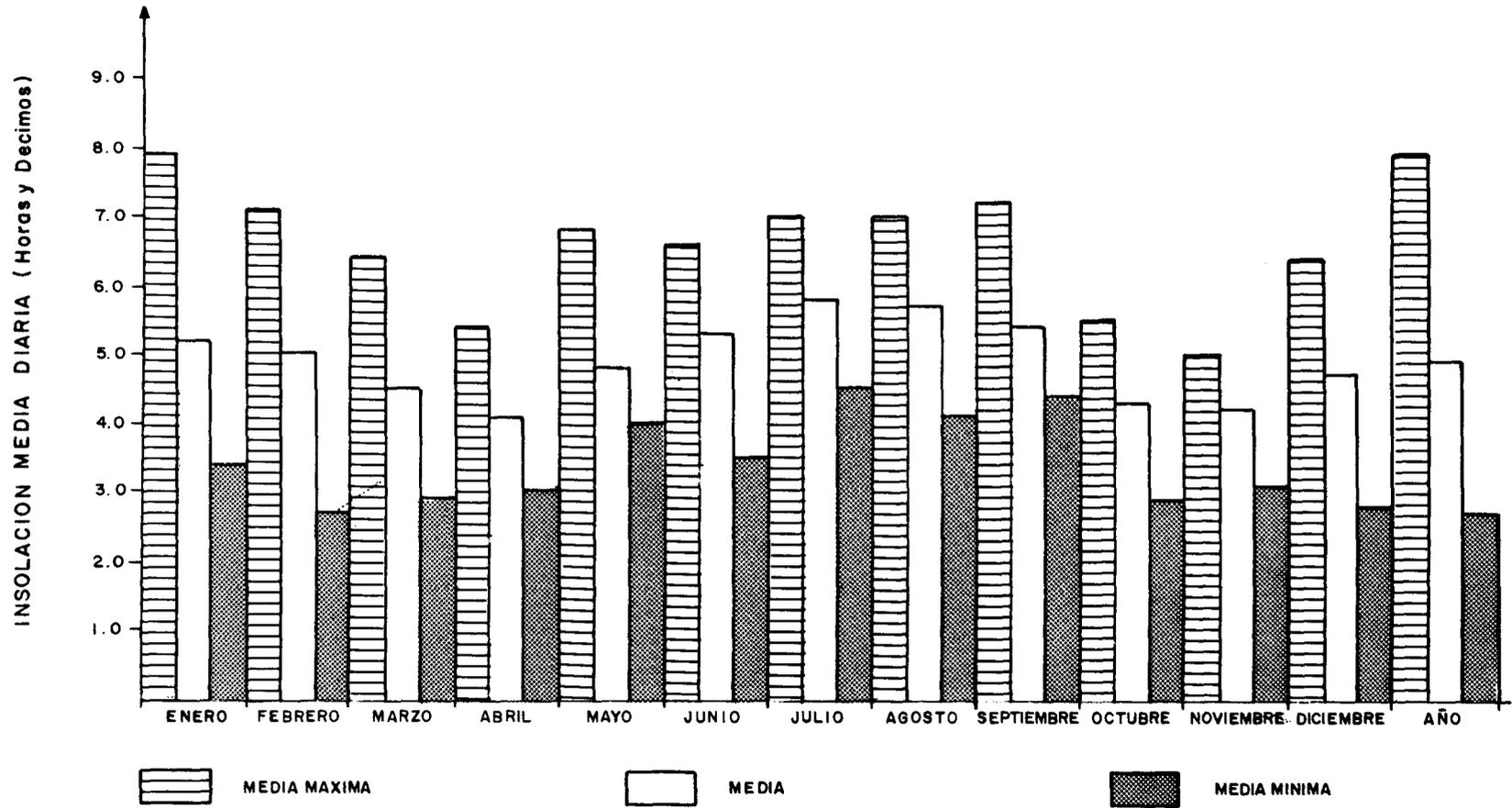
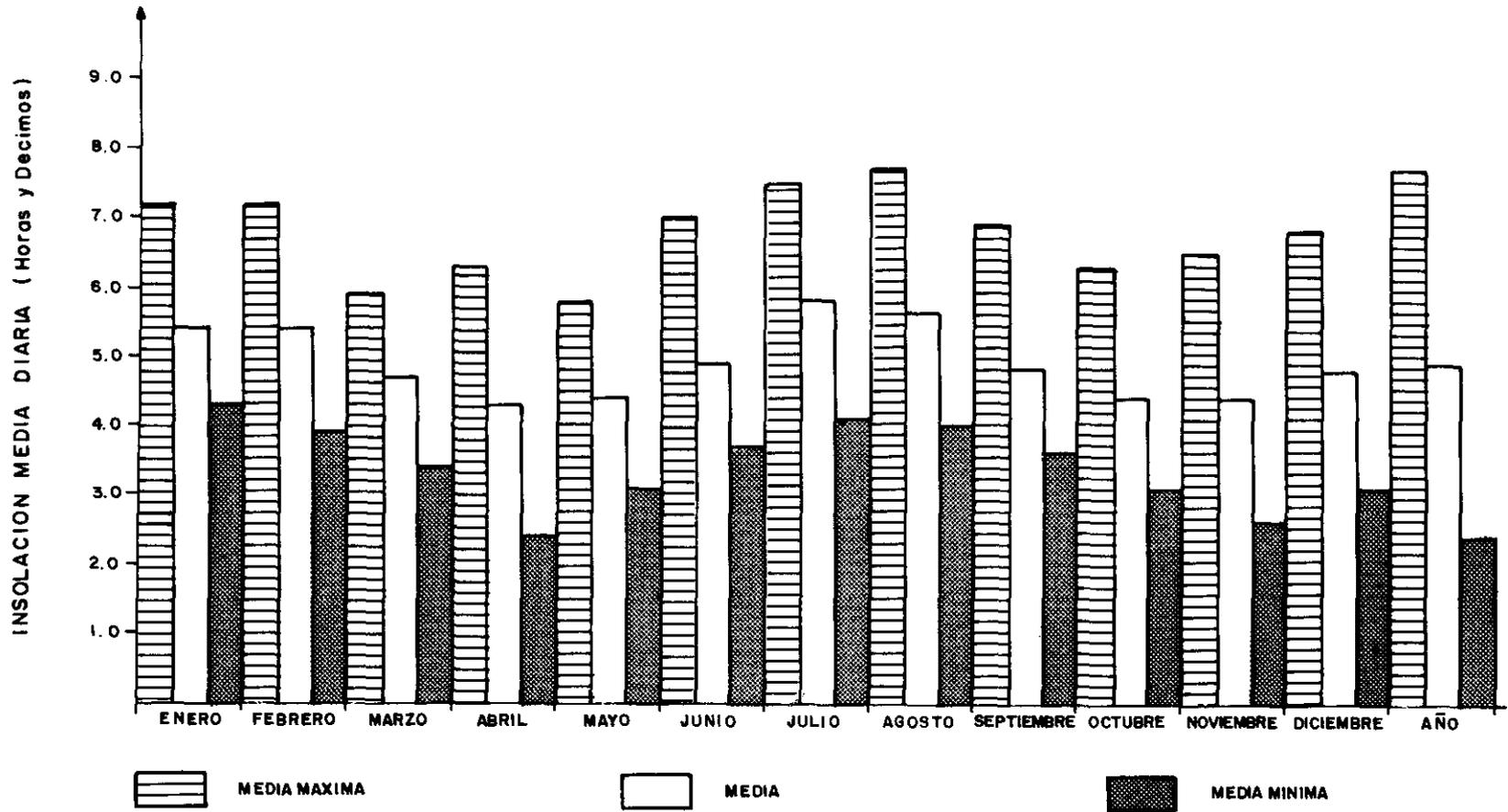
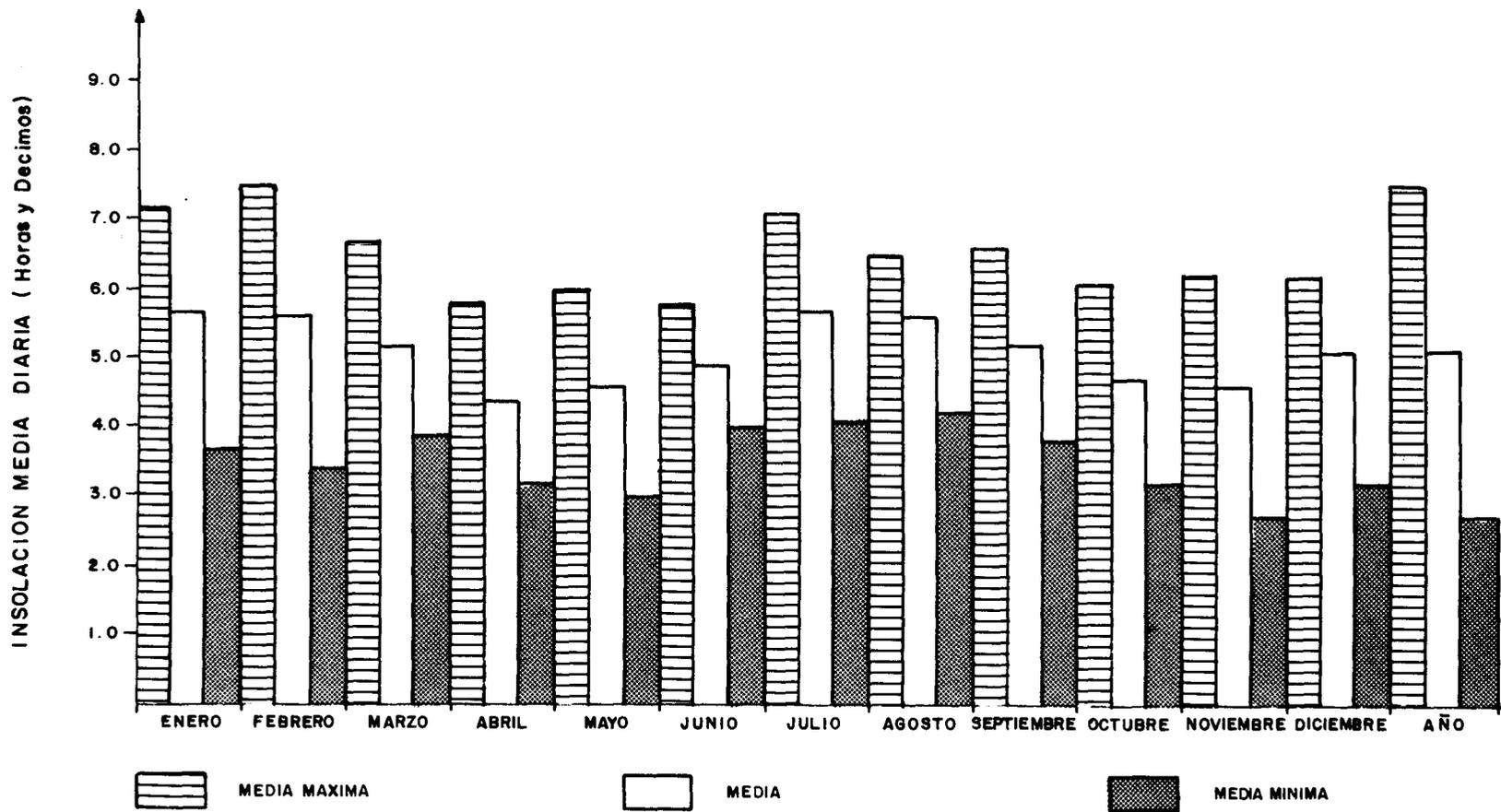


Fig. 12. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION EL CHAPETON — MARIANO MELENDR0 (IBAGUE) ZONA V



**Fig. 13. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
ESTACION EL TAMBO — MANUEL MEJIA ZONA VI**



**Fig. 14. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA  
ESTACION RESTREPO — JULIO FERNANDEZ ZONA VII**



## 5. CONCLUSIONES

El análisis de la información de la insolación, conduce a conclusiones y determinaciones concretas y satisfactoriamente exactas sobre la variación espacial y temporal de este elemento meteorológico, que en forma indirecta cuantifica la cantidad de energía disponible para mover la máquina atmosférica.

Se comprueba que para la cuenca del Cauca Superior, la variación espacial de la insolación media tiene como factor climático más relevante a la altitud. Se determinan las leyes naturales de variación de este elemento meteorológico, expresándolas por medio de ecuaciones matemáticas que posibilitan su utilización en infinidad de actividades prácticas relacionadas con proyección, ejecución y explotación de los recursos naturales. Las ecuaciones de regresión se constituyen así en instrumentos concretos y de fácil empleo en la determinación de los diferentes valores medios de la insolación. La aplicación de estos resultados es válida para cualquier lugar ubicado dentro de esta región, que es de vital importancia para el desarrollo socio-económico del país, con solo conocer su ubicación geográfica y su altitud.

Las ecuaciones resultantes, en todos los casos representan líneas y los factores de correlación demuestran ampliamente la validez de esas relacio-

nes lineales dentro de los rangos de exactitud necesarios, para las altitudes consideradas.

Pensamos que la zonificación propuesta es óptima, entendiendo que se cumple tanto para las variaciones espaciales como para las variaciones temporales.

Al mismo tiempo que la altitud aparece como el "Factor Climático" más relevante en la distribución espacial de la insolación, la nubosidad también aparece claramente como el "Elemento Climático de Control" de las diferentes variaciones de la insolación con la altitud.

Se comprueba que el régimen normal de variación temporal de la insolación se caracteriza por una distribución bimodal, con dos períodos de máxima y dos de mínima insolación que coinciden con las épocas menos lluviosas y más lluviosas, respectivamente. Así mismo, se puso en evidencia que la insolación en aquellos meses en que se presentan los equinoccios y solsticios, es muy similar a su valor medio anual.

En resumen, creemos que el presente trabajo encara de una manera satisfactoria el problema de la determinación del régimen normal de la duración de la insolación en la cuenca del Cauca Superior y, colateralmente y de forma adicional en sus alrededores.

## BIBLIOGRAFIA

- BROOKS, C. & CARRUTHERS, N. (1953): Handbook of statistical in meteorology. 412. pp. Her Majesty's Stationery office, London.
- ESLAVA, J. (1980): Apuntes de Instrumentos y Métodos de observación meteorológica. 100 pp. (Mscr). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- ESLAVA, J., PARRA, A. & VILLALBA, M. (1985): Las temperaturas máximas del aire en Colombia y su pronóstico. *Atmósfera* 4. pp. 11-66. Bogotá.
- ESSENWANGER, O. (1976): Applied statistics in atmospheric science. 412 pp. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (1949-1980): Anuarios meteorológicos. CENICAFE, Chinchiná-Caldas.
- GODOY, G., SANCHEZ, J., & CABRERA, E. (1975): Análisis de datos de precipitación. Publicación aperiódica No. 34. SCMH, Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS (HIMAT). (1935-1977): Anuarios meteorológicos, boletines meteorológicos, boletines climatológicos e información disponible en la sección de archivo técnico. HIMAT. Bogotá.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL (1970): Guía de prácticas climatológicas. OMM No. 100 T.P. 44. 326 pp. OMM, Ginebra.
- OSTER, R. (1979): Las precipitaciones en Colombia. *Colombia Geográfica*, Vol. VI, No. 2. pp. 5-147. IGAC, Bogotá.
- PANOFSKY, H. & BRIER, G. (1958): Some applications of statistics to meteorology. 224 pp. University Park. Pa.
- RAU, H. (1981): Energía Solar, aplicaciones prácticas. 215 pp. Marcombo, Boixareu Editores, Barcelona.
- SELLERS, W. D. (1972): Physical Climatology. 272 pp. The University Chicago Press, Chicago.
- SERVICIO COLOMBIANO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (SCMH). (1975): Estudios hidrometeorológicos para cálculos de potencial hidroeléctrico en Colombia. Publicación aperiódica 35. 62 pp. SCMH. Bogotá.
- STANESCU, S. & DIAZ, J. (1971): Estudio preliminar de la temperatura del aire en Colombia. Publicación aperiódica 26. 81 pp. HIMAT, Bogotá.
- STANESCU, S & RODRIGUEZ, G. (1972): Estudio hidrológico preliminar de la cuenca hidrográfica del Cauca Superior. Publicación aperiódica 27. 160 pp. HIMAT, Bogotá.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1971): Guide to meteorological instrument and observing practices 354 pp. WMO No. 8 T.P. 3. WMO. Ginebra.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1976): Some methods of climatological analysis. WMO, Ginebra.

# CAMBIOS EN LA AMAZONIA COLOMBIANA EN LOS ULTIMOS 300 AÑOS

Por Julio Carrizosa Umaña\*

## RESUMEN

La cuenca amazónica colombiana en el extremo N.O. de la Amazonia, cubre 28 millones de hectáreas y se desprende del ramal oriental de la Cordillera de los Andes.

Aunque todavía muy poco poblada, con densidad promedio de 0.6 habitantes por Km<sup>2</sup>, la cuenca amazónica colombiana ha sufrido cambios significativos en los últimos 25 años, caracterizados por la aceleración de la colonización del área cercana a la cordillera y a los principales ríos. Completamente cubierta por vegetación natural hasta el principio de este siglo, hoy la cuenca amazónica colombiana ha sido deforestada en un 7% de su área total y su ecosistema selvático reemplazado por praderas que sostienen sistemas de ganadería extensiva.

El desarrollo de este proceso de transformación ha seguido los siguientes pasos principales:

1690-1750. Intensificación de la política de poblamiento colonial y evangelizador. Los Jesuitas y Franciscanos fundan alrededor de 28 poblados que desaparecen en menos de 50 años.

1750-1810. Auge del comercio de esclavos hacia el bajo Amazonas y en dirección a los Andes. Resistencia cultural indígena.

1810-1875. Recuperación de las poblaciones indígenas, decadencia de los asentamientos europeos.

1875-1885. Comienzo y clímax de la explotación de quina. Introducción de trabajadores andinos, de predación de los árboles de quina. Iniciación de la navegación del piedemonte hasta el Atlántico por el río Putumayo.

1885-1915. Comienzo y clímax de la explotación del caucho. Genocidio del grupo huitoto. Construcción de la primera carretera desde el interior andino colombiano hasta el piedemonte. Fundación de Florencia.

1915-1935. Decadencia y desaparición de las actividades caucheras. Conflicto Colombia-Perú y construcción de la carretera Valle del Magdalena-Florencia. Fomento estatal de la colonización.

1935-1955. Fundación de grandes haciendas ganaderas. Intensificación de la caza comercial para exportación de pieles.

1955-1980. Iniciación de grandes flujos de inmigración hacia la cuenca por efecto de la inestabilidad social de la región andina. Financiación externa de proyectos de colonización dirigida. Deforestación de aproximadamente millón y medio de hectáreas. Introducción de la ganadería y desplazamiento de la población indígena. Clímax de la caza comercial para exportación de pieles y animales vivos. Fundación de numerosos centros urbanos.

1980-1985. Introducción de grandes cultivos comerciales de cocaína. Afluencia de grandes cantidades de dinero. Intensificación de la colonización a lo largo del río Caguán. Proliferación de pequeños centros urbanos de servicios y desarrollo de Florencia y Mocoa. Aparición de grupos guerrilleros activos.

## 0. LA CUENCA AMAZONICA COLOMBIANA

Las principales características estructurales y funcionales de la cuenca amazónica colombiana son las siguientes:

De la Cordillera de los Andes, ramal colombiano oriental, se desprenden los afluentes más septentrionales del Amazonas. Son ríos de gran volumen cuyo caudal crece rápidamente, apenas entran a la planicie, debido a las abundantes lluvias del Piedemonte Andino.

La cuenca en su totalidad, cuyo nombre brasileño es *Ica*. Al norte se encuentra la divisoria de aguas con el sistema orinoquense, una línea ondulante, entre selva y sabana que origina a los ríos limítrofes; el Macaya, el Vaupés y el Guainía. En el centro de la cuenca, el Caquetá y el Apaporis, se reúnen en la frontera brasileña para conformar el río Japurá.

El área aproximada de la cuenca es de 28 millones de hectáreas, su geología presenta una estructura antigua al noroeste, perteneciente estructuralmente al escudo de Guayanas. Entre los ríos Putumayo y Caquetá se extiende la planicie del

\* Miembro de número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Apartado 60076 Bogotá.

terciario y cuaternario, y dentro de ella se distingue el piedemonte andino, conjunto de lomeríos, terrazas de acarrero y terrenos ondulados que tiene un ancho aproximado de 200 kms paralelos al ramal oriental de los Andes. En el centro del área se presentan serranías alargadas y fuertemente disectadas.

La precipitación mínima en la cuenca no es menor de 1.500 mm, siendo preponderante el nivel de 2.500 mm. La precipitación aumenta hasta un poco más de 4.000 mm, según asciende el piedemonte. La temperatura media es de 26 g.c. con variaciones inferiores a los 20 g.c.

Las alturas sobre el nivel del mar varían entre 90 y 400 metros antes de llegar al piedemonte cuando empieza a ascender hasta las cumbres andinas por encima de 3.000 metros.

Más de un 80% de la cuenca está cubierta de vegetación arbórea o arbustiva. Se exceptúan las sabanas naturales del Yari y las praderas recientes del Caquetá y Putumayo que cubren alrededor de dos millones de hectáreas.

PRORADAM distingue tres tipos de vegetación arbórea, la selva exuberante de los interfluvios de los grandes ríos Amazonas, Caquetá, Putumayo y Apaporis con árboles emergentes de más de 40 metros de altura. La selva menos densa sobre las superficies de erosión y las colinas altas del Vaupés en donde empieza a aparecer el bosque achaparrado de transición hacia las sabanas de Orinoquia y la selva mixta de la región del Guainía con conjuntos heterogéneos de alturas cercanas a los 30 metros y bosques bajos con alturas inferiores a 10 metros y diámetro entre 19 y 15 cm con presencia ocasional de epifitas y parasitas y sotobosque poco denso.

Domínguez (1982) caracteriza tres regiones principales: las de aguas negras permanentes con ríos de aguas muy ácidas y pobres en nutrientes, fauna acuática escasa y poco resistente, suelos blanquecinos, vegetación rala y raquílica y fauna terrestre muy pobre; la de aguas blancas con ríos cargados de sedimentos aunque ligeramente ácidos, fauna acuática numerosa pero restringida por bajos niveles de oxígeno, suelos arcillosos, relativamente ácidos y pobres en nutrientes, vegetación exuberante y heterogénea y fauna terrestre variada, heterogénea y dispersa y la de ríos de aguas intermedias en donde el paisaje ribereño y el color de las aguas varían de ríos negros muy pobres a ríos amarillos, blancos o marillentos hacia ríos verdes oliváceos.

## 1. CAMBIOS ECOSISTEMICOS

Denominamos en esta forma las transformaciones que eliminan significativamente un grupo de elementos característicos del sistema alterando fundamentalmente sus procesos de interrelación.

Este fenómeno se ha realizado en el piedemonte de la cuenca amazónica colombiana, en las

regiones de Caquetá y Putumayo y dentro de ellas especialmente en el paisaje de colinas bajas que antecede al cuerpo principal de la cordillera de los Andes, así como en la llanura de nudación y las zonas de acumulación entre los ríos Caguán y Putumayo. Es especialmente importante la transformación total en esta área de los ecosistemas de varzea.

En esta zona se ha derribado casi completamente el bosque tropical húmedo y se ha reemplazado por una cubierta vegetal casi homogénea en donde predominan tres o cuatro especies de pastos utilizables para el pastoreo. La cubierta arbórea sólo subsiste y degradada en pequeñas "matas de monte" que algunos propietarios mantienen como fuente de maderas para su consumo.

El área afectada se calcula aproximadamente en dos millones de hectáreas, lo cual equivale a un 7% del área de la cuenca amazónica colombiana\*.

El proceso de transformación se inició en la tercera década del siglo, cuando se construyó la primera carretera que bajó la ladera oriental de los Andes. Sin embargo, el área transformada no ascendió a más de 100.000 hectáreas hasta mediados del siglo cuando la violencia política, la explosión demográfica y los problemas de tenencia rural aceleraron el proceso, el cual ha sido dirigido y financiado por el Estado desde 1958.

La desaparecida correspondía a la llamada por Humbolt Hylea amazónica o bosque tropical lluvioso (Richards 1957) con árboles corpulentos de troncos rectos que en ocasiones sobrepasan los 45 mts de altura, dosel cerrado y predominancia de *Cedrella* sp., *Ocotea* sp., *Nectandra* sp., *Jacaranda copaia* en el piso superior con pisos medios abundantes en palmas y pisos inferiores despejados con frecuencia de melastomáceas, piperáceas y palmáceas (INDE-RENA, 1973/1984).

El ecosistema estuvo habitado por grupos indígenas dispersos sobre cuya historia existen apenas referencias aisladas (Domínguez, 1985). Hoy todo el territorio está ocupado por colonos blancos y mestizos descendientes de inmigrantes de la cordillera y ocupados en su mayor parte en labores ganaderas. En los últimos años a esta ocupación principal se ha agregado la siembra y el procesamiento parcial de la cocaína, proceso que es el que proporciona el mayor dinamismo a la colonización.

La ganadería se maneja en forma extensiva con una densidad promedio de una res vacuna (incluidos terneros) por cada hectárea y media (PRORADAM, 1979), se calcula que en el área de colonización existe un inventario de aproximadamente 700.000 cabezas.

El proceso de estabilización del nuevo sistema ganadero ha tenido instancias críticas; la más aguda se presentó en 1979 cuando una sequía inesperada en el mes de febrero hizo imposible el control de

\* Cálculo del autor según Mapa de Bosques - IGAC, 1983.

las habituales quemas de maleza y originó la pérdida de 125.000 hectáreas de pasto y cultivos, crisis que se prolongó casi durante todo el año por el surgimiento inmediato de plagas que destruyeron los primeros retoños de pasto, y la posterior propagación de plantas resistentes y no aptas para los bovinos. El clímax de esta crisis ecológico-económica produjo la muerte de alrededor de 5.000 cabezas y pérdidas totales iguales a la suma de todos los préstamos proporcionados por las entidades estatales en los 10 años anteriores. (CARRIZOSA, LEIVA, y MANTILLA, 1983).

Otros indicios de cambio se han identificado en la colmatación de los cursos superiores de los ríos Caquetá y Ortegua y en la disminución de la precipitación promedio anual cerca a la cordillera.

Adicionalmente a estas transformaciones principales es posible describir cambios en los elementos ecosistémicos. La modificación de los asentamientos humanos, y de la flora y la fauna, aun en donde el bosque permanece, se describe en los puntos siguientes.

## 2. CAMBIOS EN LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS

Investigaciones recientes permiten afirmar que los ríos Caquetá, Putumayo y Caguán y, especialmente, el espacio entre los ríos Napo y Caquetá han sido ámbito de largo e intenso asentamiento humano por diversos grupos relacionados con las familias árawacas, huitoto, tucano y caribe. (DOMINGUEZ, 1982. CORREAL, 1986).

Asentamientos recientemente investigados en el bajo Caquetá han sido fechados en 1390 años (REICHEL, VON HILDEBRAND; 1980) antes del presente. Su profundidad y extensión indican la presencia de poblaciones sedentarias agrupadas en aldeas.

Entre los ríos Napo y Caquetá se ha sugerido la posible existencia de uno de los refugios pleistocénicos, posible origen de los grupos huitotos y tucano occidentales (DOMINGUEZ, 1982).

La primera expedición europea que atravesó el área en 1541 alteró marginalmente costumbres y composición étnica no sólo iniciando el proceso de mestizaje, sino fundando la primera ciudad de la cuenca amazónica colombiana, Mocoa, en 1551, al pie de la cordillera junto al río de su mismo nombre, afluente del Caquetá.

Mocoa se convirtió en el primer centro de evangelización. En sus alrededores se descubrió oro y los cargueros muisca traídos por los españoles introdujeron las costumbres y la lengua de su propio grupo.

Las condiciones de la minería y las epidemias europeas originaron súbitas y grandes disminuciones de la población indígena. Existen referencias de "continuas rebeliones y ataques que obligan a refundar a Mocoa en varias ocasiones" (FRIEDE, 1953 citado por DOMINGUEZ, 1982).

Hace 300 años, a finales del siglo XVI, Jesuitas y Franciscanos fundaron alrededor de 28 poblados entre 1693 y 1750 en los ríos Putumayo y San Miguel (LLANOS y PINEDA, 1980). Estos asentamientos tuvieron precaria existencia debido a las pestes y a los levantamientos indígenas y sólo siete de ellos se mencionan a mediados del siglo XVIII (LLANOS y PINEDA, 1980).

La exterminación de los indígenas en la cordillera y el auge del comercio portugués de esclavos en el bajo Amazonas, sometieron a intensa presión a la población indígena desde mediados del siglo XVII hasta la independencia. La resistencia se concretó alrededor del grupo de los andaquíes, cuya agresividad contra el europeo permitió sobrevivir a los grupos indígenas que encontró la República en 1810.

El impacto cultural en estos años de contacto entre la sociedad colonial y la indígena se centra en la introducción del evangelio, de las armas de fuego y de las herramientas de acero. El modo de vivir indígena y su efecto sobre el medio ambiente fue sin duda modificado por la introducción de una filosofía no vitalista, por la capacidad de matar a distancia y por un nuevo instrumento de corte y labranza.

El primer cálculo aproximado de la población indígena en el siglo XIX asciende a 28.550 en el Alto Caquetá (1843). En este año se indica la presencia de indígenas "reducidos y bautizados" en seis "semipoblaciones" del alto Caquetá. Se ignoraba la situación de los grupos "salvajes" en la cuenca baja. (GOMEZ, 1986).

El modo de producción indígena se centra, según un documento de la época, en "pequeñas sementeras de maíz, plátano, yucas, caña, cacao silvestre y cría de animales, con la pesca y con la caza de animales cuadrúpedos y volátiles. Trabajan en sacar y beneficiar la cera de abeja blanca; cultivan el tabaco y especulan con estos dos productos y también con resinas, con el curare (veneno que extraen de un bejuco de este nombre), con bodoqueras, hamacas de pita trabajadas por ellos mismos, con barniz, pájaros, pieles, plumajes. Con el producto de estos se proporcionan herramientas y lo demás que les es necesario" (Gobierno Eclesiástico 1883, folios 3,4 citado por GOMEZ, 1986).

A partir de 1874 se inician en la cuenca amazónica colombiana las exploraciones en busca de quina. Para llevarla a los Estados Unidos y Europa se organiza por primera vez el transporte a vapor por el Putumayo-Amazonas hasta Belem. Cientos de trabajadores de las cordilleras se ocupan de este negocio y un gran porcentaje muere de fiebre amarilla (REYES, R. 1986).

Cuando descienden los precios de la corteza de quina, en 1884, algunos de los empresarios colombianos se dedican a la explotación del caucho, cuya abundancia entre el Napo y el Caquetá había sido advertida por los trabajadores de la quina. La alta

rentabilidad del caucho atrae a fuertes capitales peruanos los cuales, favorecidos por la cercanía de Iquitos, desplazan a los colombianos e inician una década de intensa explotación con mano de obra cuasiesclava de la tribu huitota. Crónicas de la época aseguran que en diez años de explotación 50.000 indígenas fueron exterminados por los trabajos forzados del caucho en el Putumayo. (DOMINGUEZ, 1982).

La anterior situación condujo a dos conflictos entre Colombia y Perú para cuya atención el primer país tuvo necesidad de construir dos vías para automotores desde las altiplanicies y valles andinos hasta el Putumayo (1911) y el Caquetá (1932). Estas dos vías y medidas adicionales de promoción económica facilitaron la formación de las primeras haciendas ganaderas en la región y el fortalecimiento de los poblados de Florencia y Mocoa.

Posteriormente la situación de inestabilidad política y económica en los Andes colombianos propició la emigración de cientos de miles de trabajadores rurales. De ellos alrededor de 300.000 se asentaron en la Amazonia colombiana entre 1958 y 1986.

En forma paralela el Estado colombiano ha venido promoviendo el asentamiento semiurbano a lo largo de las fronteras de su cuenca amazónica. Los principales poblados: Leticia, sobre el Amazonas; Puerto Leguísimo sobre el Putumayo y Mitú sobre el Vaupés son centros administrativos y militares cuyo objetivo inicial fue el fortalecimiento de la soberanía y que hoy son centros de comercio regional. Leticia, sobre el Amazonas, la mayor de estas tres poblaciones, fue fundada en 1867, tiene alrededor de 14.000 habitantes y su única comunicación con el interior de Colombia es por vía aérea y fluvial.

A lo largo de los principales ríos: Putumayo, Caquetá, Caguán, Yari, Vaupés, Guainía son abundantes los minúsculos asentamientos humanos de pescadores, cazadores o madereros oriundos del interior de Colombia que constituyen la vanguardia de la colonización, pero sus fondos o el área que han desforestado pocas veces pasa de pocos cientos de metros de la ribera.

Para complementar esta síntesis debe agregarse la presencia continua de grupos tribales indígenas tanto a lo largo de los ríos principales como en los menores y aun en el interior de la llanura selvática. El número de su población es desconocido; se evalúan en menos de 100,000 para la cuenca amazónica colombiana.

### 3. CAMBIOS EN LA FLORA

Como se sintetizó en el punto uno el cambio principal es la desaparición de la masa selvática que cubría dos millones de hectáreas de los suelos de mejor calidad de la cuenca colombiana.

Se registran en los bosques típicos de la región transformada, promedios ponderados de volumen comercial de madera de 38 m<sup>3</sup>/ha para D.A.P. de 25 cm (INDERENA, IGAC, 1984).

Las especies más valiosas por su madera son los cedros (*Cedrela sp.*) y algunas de color amarillo como los laureles (*Ocotea sp.*; *Nectandra sp.*).

Las especies más abundantes e importantes son el comino real (*Ocotea costulata*), la sangre de toro (*Virola carinata*), el guamo (*Inga sp.*) y el caucho (*Hevea guianensis*).

No se ha evaluado el significado científico de esta pérdida del fitopatrimonio de la cuenca. De este tipo de bosque quedan solamente unas decenas de miles de hectáreas de donde se han entresacado ya las maderas más valiosas.

Aunque existe todavía una masa selvática de aproximadamente 26 millones de hectáreas de extensión debe anotarse que ésta ya ha sufrido cambios marginales caracterizados por las siguientes tendencias:

- Extracción de troncos gruesos de maderas valiosas como los cedros (*Cedrela sp.*).
- Degradación de poblaciones de algunas especies que, como el palo de rosa (*Beilschmiedia sp.*), el caucho negro (*Castilloa*) o el chiqui-chiqui (*Leopoldina*), tienen o han tenido gran demanda comercial.
- Degradación o próxima desaparición total de la vegetación propia de las vegas y de las varzeas, en donde se han concentrado los primeros asentamientos humanos, a lo largo de los ríos Caquetá, Putumayo y Caguán.

Este tipo de vegetación se caracteriza por la predominancia de grandes árboles como la ceiba pentandra, los ficus y los balsos. En la parte baja de la cuenca se encuentran todavía poblaciones de *Hevea brasiliensis* (DOMINGUEZ, 1982). Es también característica en estas áreas semiinundables la presencia de una mayor cantidad de palmas (seje, canangucha), y una gran abundancia de bejucos, lianas y epifitas.

Un análisis de este tipo de bosque sobre el río Guainía, al N. E. de la cuenca colombiana da preponderancia de *Nectandra* 4% sp., *Erisma* sp., *Lecythis* 3 y 6% y *Eperua* sp. 5% y coeficientes mucho más bajos en el resto de las especies, las cuales dominan en más del 86% (PRORADAM, 1979).

### 4. CAMBIOS EN LA FAUNA

A la destrucción del 7% de la masa selvática corresponde posiblemente un porcentaje mayor de degradación de la fauna mayor, especialmente de aquellas especies ligadas a los nichos ecológicos de los interfluvios de ríos de aguas blancas y a las vegas y varzeas de los ríos navegables por pequeñas embarcaciones.

En la cuenca superior, donde el ecosistema selvático ya no existe, todas las especies relacionadas con él han desaparecido. En el umbral entre la selva y el nuevo ecosistema ganadero la degradación de la fauna es intensa por efecto de la acción de los colonos sobre las especies que buscan, en el paisaje

de mosaico, presas adecuadas. La demanda del colono tiene dos características principales: animales para consumo de la familia y animales para venta en el mercado de pieles y de mascotas. De 1940 a 1973 esta última fuente de demanda constituyó la causa mayor de la degradación de la población de especies como los felinos, los saurios y los mustélidos.

Los peces de la cuenca superior han disminuido significativamente hasta el punto en que en Florencia se venden peces capturados en los valles interandinos.

Se considera que están al borde de la extinción en la cuenca las siguientes especies: (PRORADAM, 1979).

- Perro de agua (*Ptenura brasiliensis*)
- Nutria (*Lutra londicaudis*)
- Manatí (*Trincherus inunquís*)
- Caimán Negro (*Melanosuchus niger*)
- Babilla (*Caiman cocodrilus*)
- Jaguar (*Felis onca*)

Se encuentran en peligro todas las especies de primates, el ñeque (*Dasyprocta fuliginosa*), el tintin (*Myprocta acouchy*), el borugo (*Agouti paca*), los tigrillos (*Feltes pardalis*) y (*Felis wiedii*), la danta (*Tapirus terrestris*), los cerdos de monte (*Dicotyles tajacu* y *Tayassu pecari*), tortugas como la morrocoy (*Geochelone denticulata*) y la charapa (*Podocnemis expansa*), la boa (*Boa constrictur*) y aves como la perdiz de monte (*Tinamus major ruficeps*).

Se ha observado disminución significativa de las poblaciones de las siguientes especies: gallineta china (*Tinamus guttatus*) y chorola (*Crispturellus soui caquet*) dentro de las aves; chigüiros (*Hydrochoerus hidrochaeris*), ñeques (*Dasyprocta fuliginosa*), bufeos (*Inia geofrensis*), Yacarerana (*Dracaena guianensis*) y anacondas (*Eunectes marinus marinus*) (PRORADAM, 1979).

Las últimas estadísticas de explotación legal de fauna son de 1973; en ese año la magnitud de la cacería motivó el escándalo público y originó la veda que continúa actualmente (1986). Las últimas cifras fueron las siguientes:

Especie y producto	Volumen
Babillas, pieles	333.500
Saino, pieles	63.300
Cafuche, huangana, manao, pieles	20.000

CARRIZOSA, Julio; LEYVA, Pablo, MANTILLA, Guillermo. La ampliación de la frontera agrícola en el Caquetá. Publicado en Expansión de la Frontera Agropecuaria y Medio Ambiente en América Latina. CEPA/CIFCA, Madrid. 1983.

CORREAL, Gonzalo. El poblamiento indígena en Manual de Geografía de Colombia. II Expedición Botánica. Presidencia de la República (en publicación).

DOMINGUEZ, Camilo. Amazonia Colombiana. Banco Popular, Bogotá, 1985.

Especie y producto	Volumen
Tigrillo, pieles	20.000
Venado, pieles	4.800
Chigüiro, pieles	3.900
Tigres mariposo y peludo, pieles	3.500
Nutria, pieles	3.500
Psitácidos, vivos	3.000

Niveles semejantes de explotación fueron comunes de 1969 a 1973.

## 5. CAMBIOS EN EL SUBSUELO

La explotación del subsuelo de la cuenca amazónica colombiana se ha reducido, hasta 1986, a extracción de oro en menor escala y petróleo en escala industrial.

Esta última se ha desarrollado en el interfluvio de los ríos Putumayo y Caquetá durante los últimos 20 años. Los yacimientos no tienen la importancia que en un principio se les concedió y se encuentran en decadencia.

En el valle del río Guainía, al noreste de la cuenca colombiana, se han encontrado aluviones auríferos aparentemente muy ricos que se explotan a pequeña escala y por métodos artesanales desde 1985.

## 6. CAMBIOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS

La Amazonia colombiana es una de las regiones del planeta con menor infraestructura de servicios. El extremo sur, la pequeña ciudad de Leticia no cuenta con ningún servicio de transporte terrestre con la zona andina. De la cordillera únicamente descenden dos carreteras, ambas de pobres especificaciones, que apenas avanzan unos pocos cientos de kilómetros hacia el oriente. Las dos ciudades principales del piedemonte, Mocoa y Florencia, no tienen comunicación terrestre entre sí, por la cuenca. Sólo uno de los grandes ríos, el Putumayo, es navegable en su totalidad pero no se mantiene en él ningún servicio regular de transporte.

El Estado colombiano sólo en los últimos años ha logrado establecer precarios servicios de salud, energía, comunicaciones y transporte aéreo en Leticia y en dos o tres poblaciones de menor tamaño.

## BIBLIOGRAFIA

GOMEZ, Augusto. Los asentamientos indígenas. En Manual de Geografía de Colombia (en publicación).

LLANOS, Héctor y PINEDA, Roberto. Etnohistoria del gran Caquetá, Banco de la República, Bogotá, 1980.

IGAC, INDERENA, CONIF. Mapa de Bosques. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, 1984.

INDERENA, Estudio dendrológico de algunas especies forestales. Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables, Bogotá, 1973.

PRORADAM. La Amazonia Colombiana y sus recursos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, 1979.

# ESTUDIOS TECTONICOS DE LA PARTE SUR DE MEXICO

Por A. E. Scheidegger

## RESUMEN

A partir de mediciones de orientaciones de diaclasas, de planos de falla de terremotos y de otros datos geofísicos se determinaron las direcciones de la máxima presión en la parte Sur de México. Se ve que la máxima presión está normal a la Costa del Pacífico, lo que se concuerda con la idea de una subducción de la placa de Cocos debajo de la placa de Norteamérica. En Yucatán, la presión está E-W; esto corresponde a la componente normal del desplazamiento de la placa Americana al margen de la placa del Caribe.

## ABSTRACT

Starting from measurements of joint orientations, from fault plane solutions of earthquakes and from other geophysical data, the directions of the maximum neotectonic pressure were determined in the southern part of Mexico. It is seen that this maximum pressure is normal to the Pacific coast, indicating a subduction of the Cocos plate in this region. In Yucatan, the maximum pressure is E-W, which corresponds to the normal component of the shearing motion along the boundary between the North American and Caribbean plates.

## INTRODUCCION

Luego de trabajos hechos en México durante los años pasados (Scheidegger, 1979), ha sido posible emprender estudios adicionales de la tectónica de la parte sur de este país.

El método principal de los estudios era el de medir las orientaciones de diaclasas evidentes en afloramientos particulares. La evaluación de los datos se hizo según el método estadístico de Kohlbeck y Scheidegger (1977). Usando este método, el resultado es una tabla de direcciones preferenciales (azimut N a E de la dirección y el ángulo del buzamiento) de las diaclaseas, de los ángulos entre los dos sistemas preferenciales de diaclasas y de las direcciones (azimut y ángulo de buzamiento) de la

máxima (P) y de la mínima (T) presión. La justificación de este método se ha confirmado en todo el mundo (véase Scheidegger, 1985).

En seguida, los resultados de la interpretación de la orientación de diaclasas fueron confirmados por otros datos geofísicos, como la orientación de planos de falla de terremotos y la profundidad de los ipocentros.

Finalmente, daremos una interpretación de los hechos geofísicos bajo el aspecto de la tectónica de placas.

## RESULTADOS DE MEDICIONES DE DIACLASAS

### *Faja volcánica transmexicana*

Las mediciones en esta región ya eran descritas en el trabajo citado de Scheidegger (1979). Recordemos que había dos afloramientos en la ciudad de México, dos en los alrededores del Paso de Cortés y uno en el Nevado de Toluca. Las rocas fueron lavas andesíticas en todos los casos. En el trabajo anterior los afloramientos se evaluaron individualmente; presentamos ahora la evaluación de todos los datos de la región en conjunto (Tabla 1). La Figura 1 muestra el diagrama de la densidad de polos de las diaclasas.

### *Bahía de Acapulco*

Las mediciones en cuatro afloramientos de los alrededores de la Bahía de Acapulco también se presentaron en el trabajo antes citado (Scheidegger, 1979). Las rocas fueron intrusivas del Mesozoico y del Terciario; consisten en granitos y tonalitos gruesos a veces muy meteorizados. Esas rocas se intrudieron en una base de rocas metamórficas paleozoicas. La evaluación estadística de los datos se

ve en la Tabla 1; la Figura 2 muestra el diagrama de la densidad de polos.

### Estado de Oaxaca

Una campaña bastante extensiva se hizo en el estado de Oaxaca. En todo, nueve grupos de afloramientos se observaron, los cuales se muestran en el mapa de la Figura 3.

La geología de la región tiene mucho interés porque contiene muchos metasedimentos precámbricos de Grenville y paleozoicos (Nixon, 1982). Granitos gruesos se intrudieron en el complejo anciano Precámbrico-Paleozoico durante el Mesozoico, que presentan el aspecto de "cerros insulares" como en Nigeria. A veces lentes de calizas del Cretácico sobreyacen conformando el complejo anciano.

En la Tabla 2, presentamos las evaluaciones de las diaclasas en las regiones individuales. Notamos también los tipos de rocas encontradas. La evaluación de todas las diaclasas en el Estado de Oaxaca se halla en la Tabla 1. La Figura 4 muestra el diagrama de la densidad de polos.

### Yucatán

Las investigaciones geológicas en la península de Yucatán han demostrado que la superficie está formada por piedras calizas cubiertas por una pequeña costra de caliche (dicha "laja") que sobreyace rocas calcáreas masivas, en las cuales se demostró, igualmente, la existencia de carbonatos antigénicos y anhidritas. La región de Yucatán, así, es parecida a la Plataforma de Florida: ambas regiones están cubiertas por sedimentos marinos del período Terciario con espesores que varían de 1.300 a 3.000 metros (Bonet y Butterlin, 1977).

En el Terciario se ven varias fases. En la parte más al sur, hacia la frontera de Guatemala, se encuentran rocas del Paleoceno; el propio núcleo de la península (al cual pertenecen Chichén-Itzá y Uxmal) consiste en sedimentos eocenos; en el norte siguen el Oligoceno y el Plioceno.

La morfología se determina por el hecho que la península consiste en una plataforma de calizas con capas casi horizontales. Se encuentran fenómenos kársticos como de costumbre en calizas, particularmente huecos de solución que aquí se llaman "cenotes". Los afloramientos visitados se encontraban en el lado de tales cenotes.

TABLA 1  
Resultados para regiones. Norte magnético

Región	No. de diaclasas	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
Faja Volcánica	108	280± 7/89± 7	3± 8/87± 7	83	231/2	141/3
Acapulco	86	75±10/90± 9	165±13/83±11	89	300/5	30/5
Oaxaca	506	229± 7/89± 5	138± 6/90± 4	88	4/0	94/1
Yucatán	34	36±21/86±14	148±28/90±19	69	272/3	182/3

TABLA 2  
Evaluación de diaclasas en el Estado de Oaxaca

Lugar	Rocas	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
1. Mihuatlán	Metamorf. Paleoz.	45	65±14/87±13	162± 9/80± 8	84	293/10	23/4
2. San José del Pac.	Metamorf. Paleoz.	63	34±15/90±13	309±10/78± 9	88	82/ 8	174/8
3. Puerto Angel	Precámbrico	67	264± 9/87± 8	152±11/88±10	68	28/ 4	118/1
4. Puerto Escondido	Precámbrico	21	240±12/89±12	148±19/88±20	88	14/ 2	284/1
5. Laguna del Sol	Precámbrico	64	209±20/88±12	116±20/86±12	86	342/ 4	252/2
6. Salina Cruz	Mesozoico: Granitos	63	225±17/86±12	138±22/89±14	86	91/ 2	1/4
7. Tehuantepec	Mesozoico: Granitos	58	224±21/85±13	136±22/89±13	88	90/ 3	0/4
8. La Escondida	Lavas Cenozoicas	62	32±11/87±11	300± 8/84± 8	89	166/ 6	76/2
9. Mitla	Intrusivas Cenozoicas	63	237±18/87±14	153±11/90± 8	85	105/ 2	15/2
Todo Oaxaca		506	229± 7/89± 5	318± 6/90± 4	88	4/0	94/1

TABLA 3  
Evaluación de diaclasas en Yucatán

Lugar	No.	Max. 1	Max. 2	Angulo	P	T
Chichén-Itzá	12	indef.				
Uxmal	22	301±18/83±18	12±18/89±16	71	67/5	157/5
Yucatán	34	36±21/86±14	328±28/90±19	69	272/3	182/3

En todo, dos afloramientos se visitaron, uno en Chichén, otro en Uxmal. Los resultados se ven en la Tabla 3. La Figura 5 muestra el diagrama de polos para toda la región.

#### *Conclusiones a partir de las mediciones de diaclasas*

Un examen de la Tabla 1, que contiene los resultados para regiones enteras, muestra una variación sistemática de los rumbos de las diaclasas y de los esfuerzos principales. Hemos dibujado la situación en la Figura 6, ahora con la corrección para la declinación magnética que hemos estimado de 10°W. Hemos trazado también los márgenes de las placas tectónicas. Se ve que las presiones maximales en la faja volcánica y Acapulco están normales al margen de la placa de Cocos.

En el Estado de Oaxaca se encuentra un cambio de la dirección de la máxima presión que sigue la Costa. Evidentemente la presión es consecuencia de la subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana. Como el margen de la placa se torna, la presión la sigue.

La situación análoga se encuentra en Yucatán: La máxima presión sigue la costa y siempre está normal a la última. Sin embargo, la costa no es margen de una placa, la frontera entre la placa Norteamericana contra la del Caribe sigue una falla transcurrente (véase la fig. 6), cuyo azimut está a 45° de la máxima presión: la última debe estar en la dirección EW en el interior de la placa Norteamericana adyacente.

#### MECANISMOS FOCALES

Mecanismos focales de terremotos han sido analizados por Molnar & Sykes (1969) y por Dean & Drake (1978). La interpretación geodinámica que resulta de estas investigaciones se muestra en la Figura 7. Los datos obtenidos indican un empuje abajo de la litosfera oceánica bajo la litosfera continental. Los azimuts de los vectores de deslizamiento varían de N41E a N34E, el buzamiento de 15° a 21° (Nixon, 1982). Adicionalmente, se han publicado otras investigaciones de mecanismos focales, particularmente de los terremotos de Colima (30 de enero de 1973) y de su réplica (10 de febrero de 1973; Reyes *et al.* 1980), y de las réplicas del

terremoto de Oaxaca (29 de noviembre de 1978; Reyes *et al.* 1979). Los mecanismos focales también parecen representar compresiones de SE a NE, pero los datos indican fallas de empuje más bien que fallas de rumbo. El buzamiento del plano de falla se acerca a unos 30 grados. Otras soluciones de planos de falla (terremotos de 28 de agosto de 1973, 3 de julio de 1973, 11 de marzo de 1967) parecen ser muy inciertas; las orientaciones de los planos varían considerablemente (Shurbet & Cebull, 1984).

Este patrón de esfuerzos ha sido confirmado por LeFèvre y McNally (1985) a partir de 190 mecanismos focales. Las autoras citadas también calcularon la velocidad del movimiento de la placa de Cocos al NE que es un empuje de cerca de 70 mm a<sup>-1</sup>.

#### HECHOS GEOFISICOS GENERALES

La Figura 8 muestra las profundidades de los focos sísmicos en México. La distribución de esas profundidades es una indicación directa de la existencia de una zona de subducción (Nixon 1982). Lomnitz (1982) ha podido confirmar esta hipótesis directamente en cuanto él ha identificado fases de refracción que provienen del límite entre la parte descendiente y la masa yacente encima de ella.

#### INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Según la discusión precedente está absolutamente claro que la neotectónica de la parte central de México observada, concuerda con la hipótesis de una subducción de la placa oceánica (de Cocos) bajo la placa continental (de América). Una cuestión aparte es el problema del origen de la faja volcánica transmexicana. Esta faja no parece estar en conexión sencilla con la tectónica de placas, pero más bien parece ser consecuencia de una desintegración o fractura de la placa continental. Así se formó una zona de transtensión porque las velocidades del movimiento no son iguales en las dos partes de la masa continental. Esta idea ha sido propuesta por Shurbet & Cebull (1984) y armoniza bien con los resultados sobre diaclasas hallados por nosotros. El sistema propuesto se muestra en la Figura 9 por cuanto la dirección de la máxima presión es la misma al norte y al sur de la faja, la rotura y abertura de la placa debe hacerse por la desigualdad de las velocidades del deslizamiento.

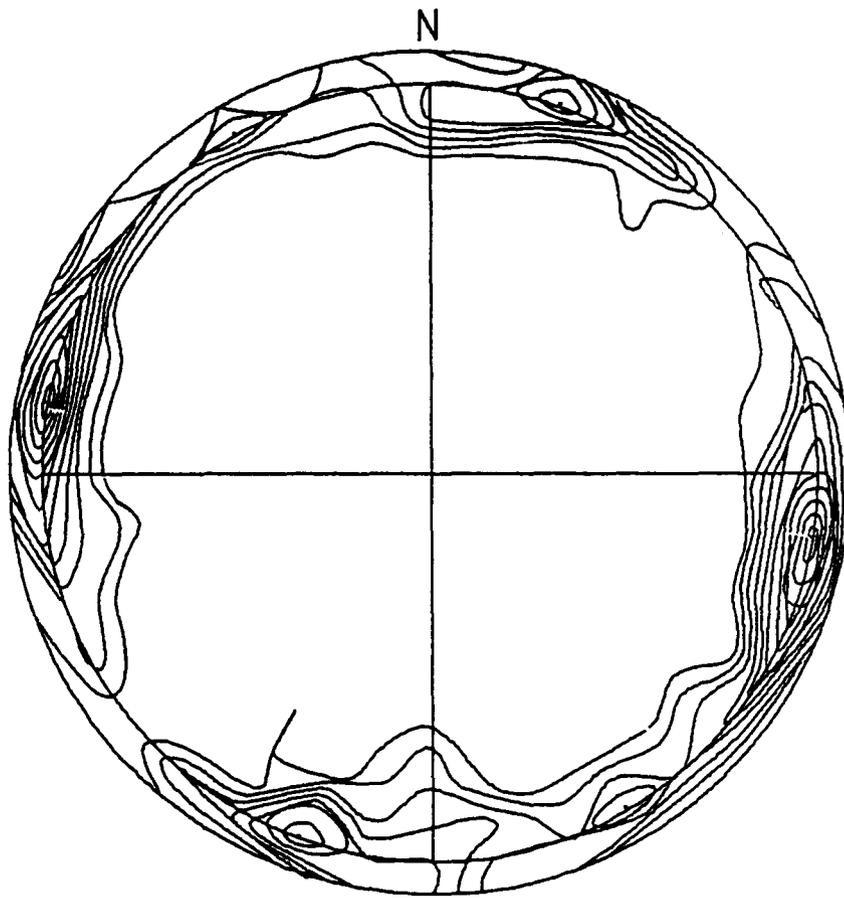


FIGURA 1. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para la faja volcánica transmexicana. Norte magnético.

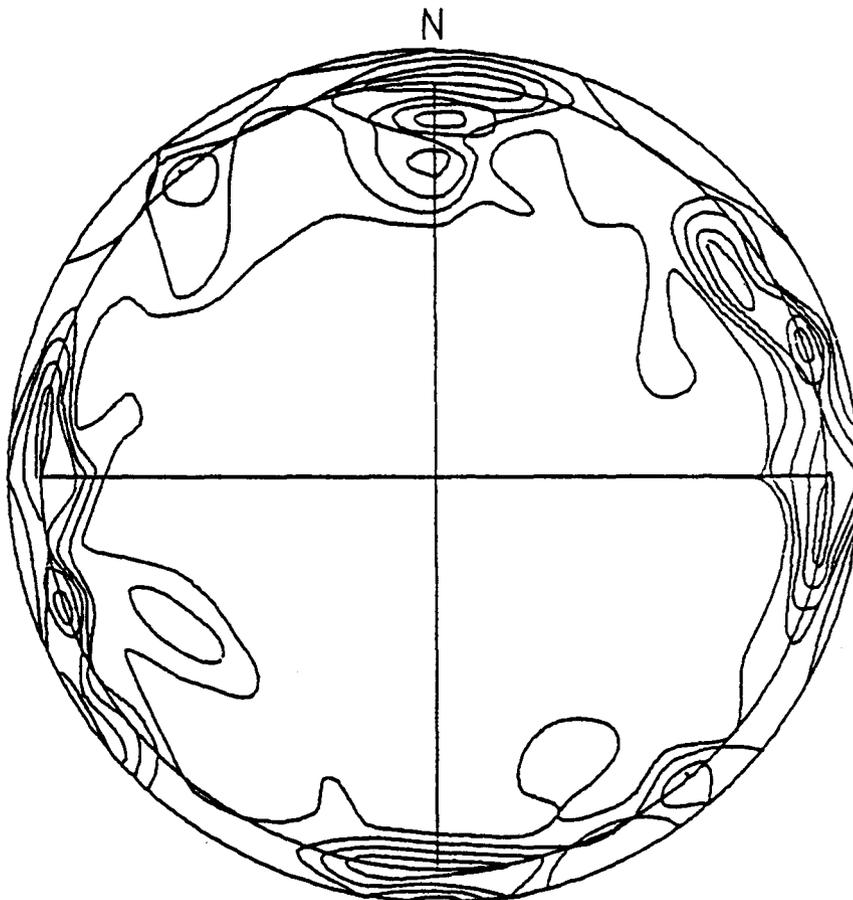


FIGURA 2. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para la Bahía de Acapulco. Norte magnético.

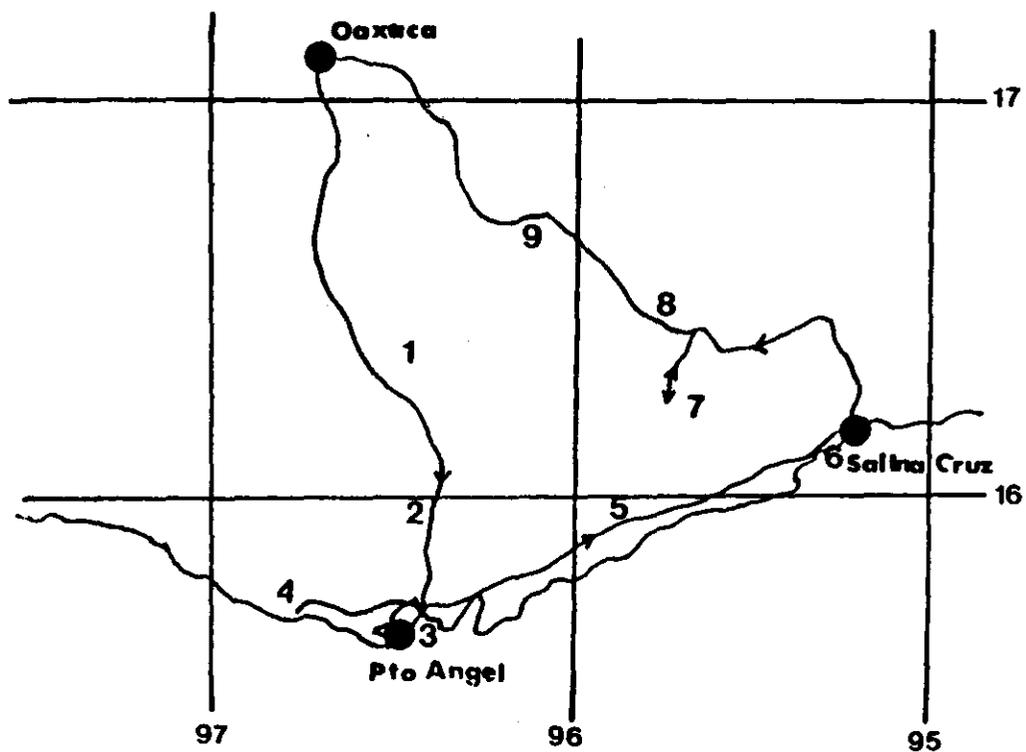


FIGURA 3. Mapa de la ruta y de las regiones visitadas en el Estado de Oaxaca.

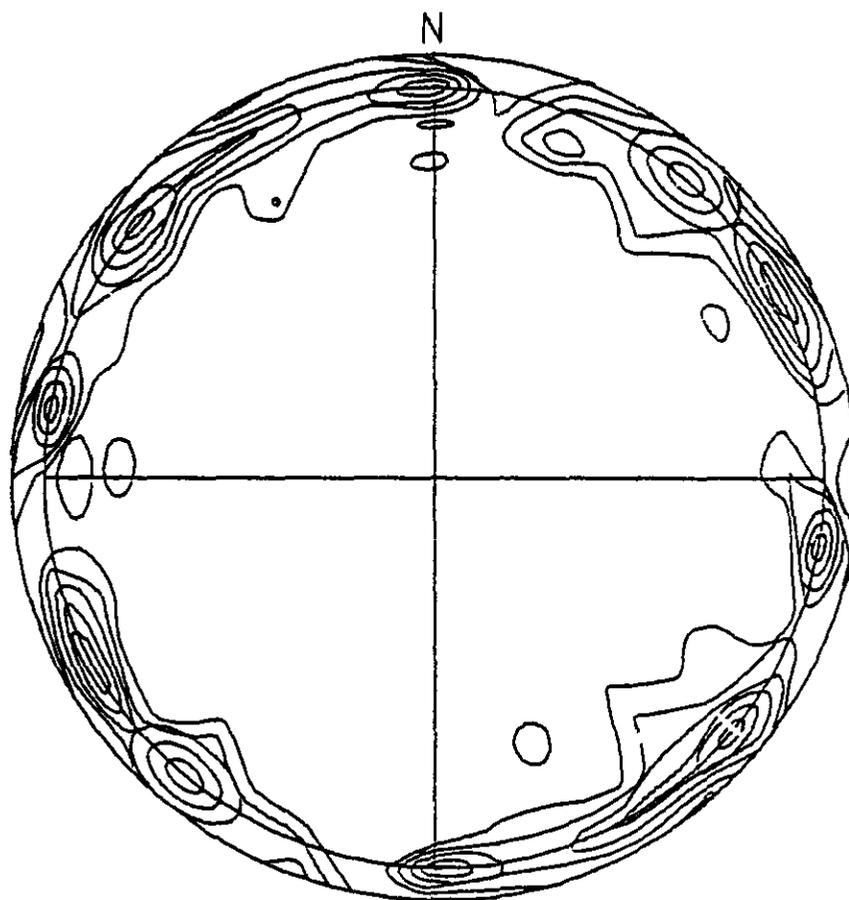


FIGURA 4. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para el Estado de Oaxaca. Norte magnético.

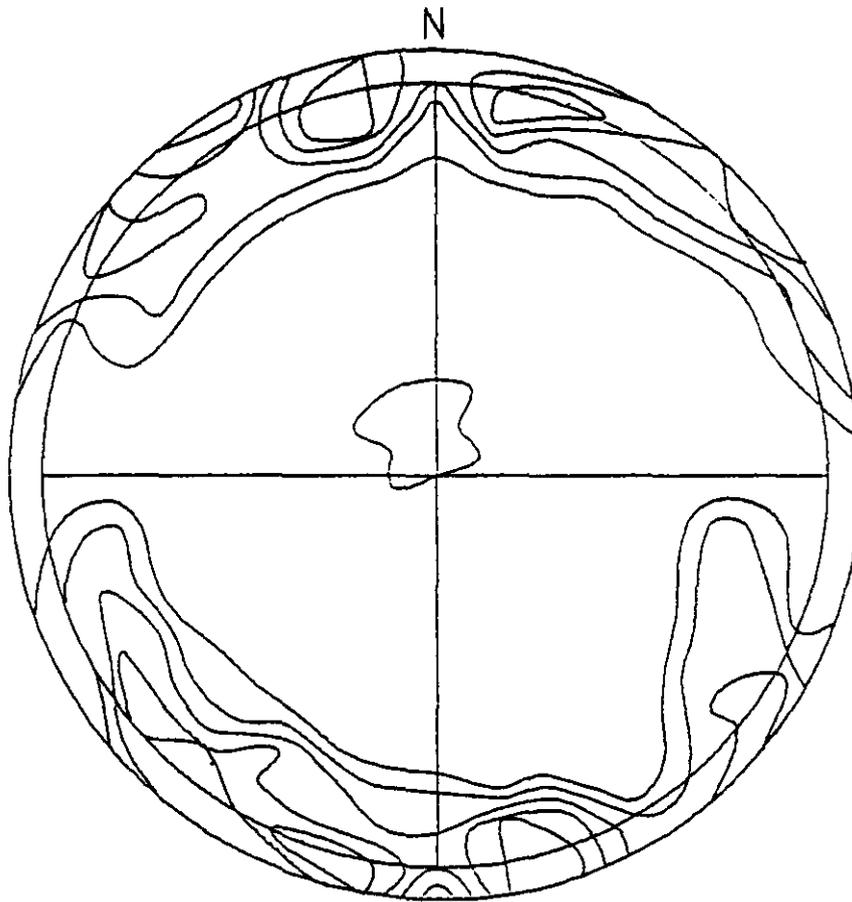


FIGURA 5. Diagrama de densidad de polos (proyección de Lambert) para la Península de Yucatán. Norte magnético.

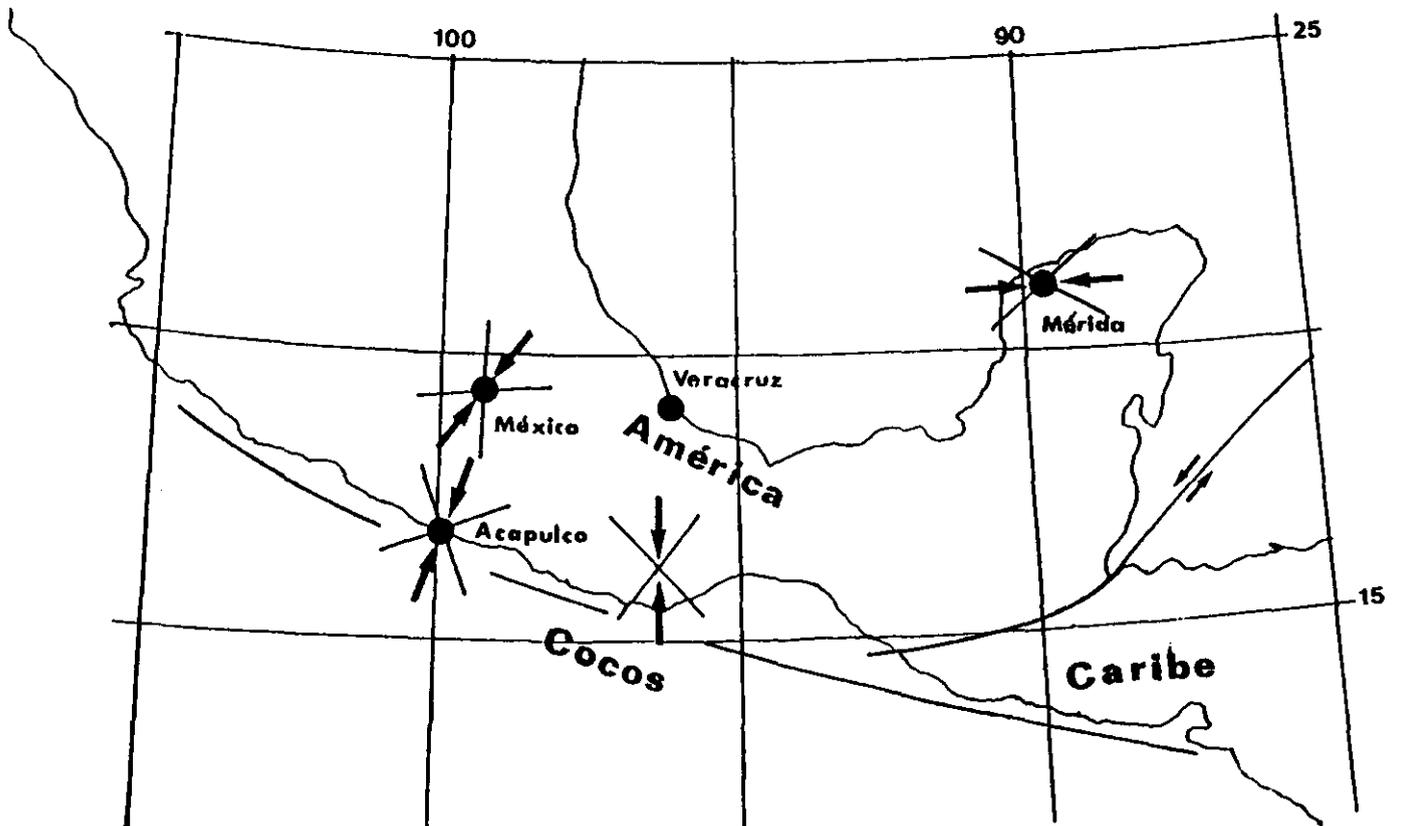


FIGURA 6. Rumbos preferenciales (líneas) de las diaclasas y máximas presiones (flechas) en cuatro regiones de México. Los márgenes de las placas tectónicas están marcados.

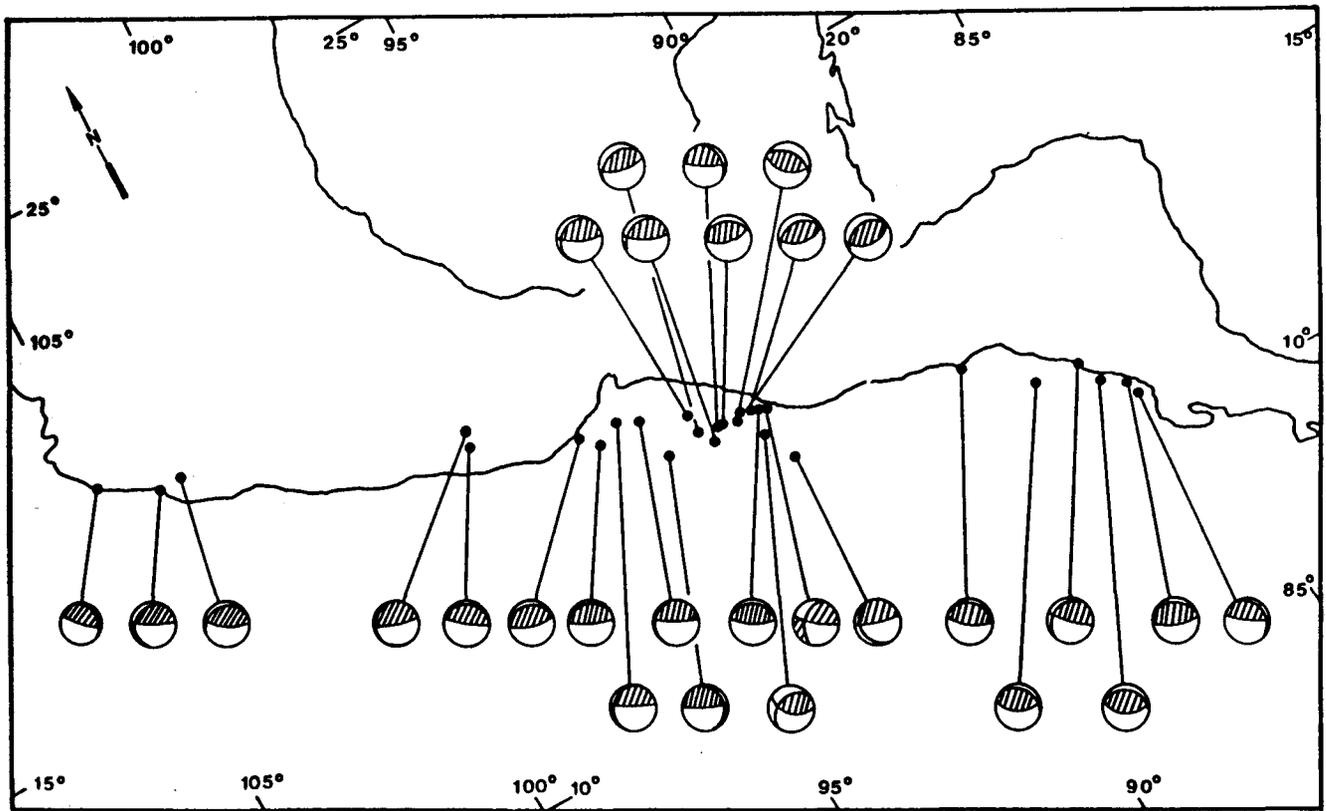


FIGURA 7. Mecanismos focales en la región de México, modificado según los estudios sísmicos de Molnar & Sykes (1969), y de Dean & Drake (1978).

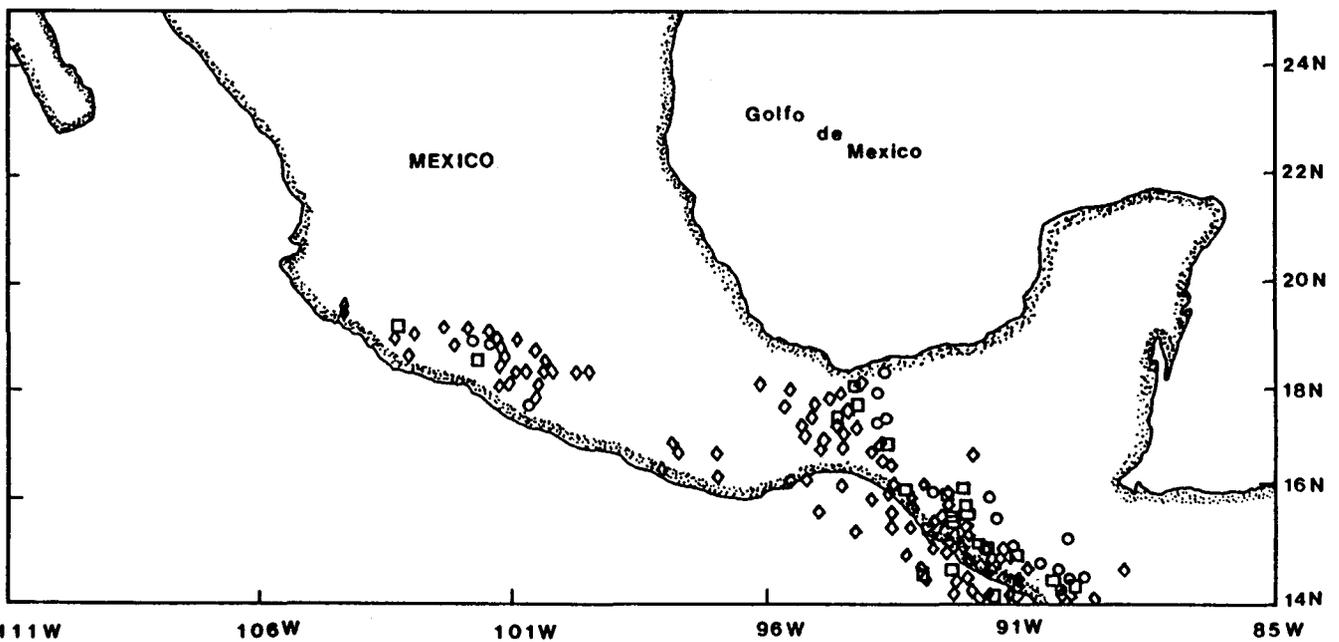


FIGURA 8. Profundidades de focos sísmicos en México, modificado según Nixon (1982). Los rombos significan profundidades entre 100-150 Km.; los cuadrados entre 150-200 Km., los círculos más de 200 Km.

# PLACA DE NORTEAMERICA



FIGURA 9. Origen de la faja volcánica transmexicana por desigualdad de velocidades del movimiento de placas (según Shurbet & Cebull 1984).

## BIBLIOGRAFIA

- BONET, F. & BUTTERLIN, J. (1977): Reconocimiento geológico de la Península de Yucatán. En: Enciclopedia Yucatanense.
- DEAN, B.W., DRAKE, C.L. (1978): Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America arc. *J. Geol.* **86**, 111-128.
- KOHLBECK, F. & SCHEIDEGGER, A.E. (1977): On the theory of the evaluation of joint orientation measurements. *Roch. Mech.* **9**, 9-25, 5 Figs., Viena.
- LeFEBRE, L. V. & McNALLY, K. C. (1985). Stress distribution and subduction of aseismic ridges in the Middle America subduction zone. *J. Geophys. Res.* **90** (B6), 4495-4510.
- LOMNITZ, C. (1982): Direct evidence of a subducted plate under southern Mexico. *Nature* **296**, 235-238.
- MOLNAR, P., SYKES, L.R. (1969): Tectonics of the Caribbean and middle America Regions. *Bull. Geol. Soc. Amer.* **80**, 1639-1684.
- NIXON, G.T. (1982): The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere. *Bull. Geol. Soc. Am.* **93**, 514-523.
- REYES, A., BRUNE, J.N., LOMNITZ, C. (1979): Source mechanism and aftershock study of the Colima, México earthquake of January 30, 1979. *Bull. Seism. Soc. Amer.* **69** (6), 1819-1840.
- REYES, A., GONZALES, J., MUNGUÍA, L., NAVA, A., VERNON, F., BRUNE, J.F. (1980): Locations of aftershocks of the Oaxaca earthquake using smoked paper recorders and digital event recorders. *Geofísica Internacional (México)* **19** (4), 341-349, México.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1979): Joint orientations in Central Mexico. *Geofísica Internacional (México)* **18** (4), 329-346.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1985): The significance of surface joints. *Geophys. Surveys* **70**, 259-271.
- SHURBET, D.H., CEBULL, S.E. (1984): Tectonic interpretation of the Trans-Mexicano volcanic belt. *Tectonophysics* **101**, 159-165.

# PANORAMA HISTORICO DE LA GEOLOGIA COLOMBIANA ENTRE 1880 Y 1980

Por Armando Espinosa B.<sup>1</sup>

La historia de la geología y de los estudios geológicos en Colombia entre 1880 y 1980 presenta particular interés por cuanto en el período tienen lugar acontecimientos diversos que van desde las últimas expediciones científicas europeas, que caracterizaron el siglo XIX, hasta los modernos adelantos de los últimos años. También ocurren en el intervalo grandes desarrollos en materia de minería, ingeniería y recursos energéticos, como son el nacimiento y desarrollo de la industria petrolera, la construcción de la red de comunicaciones, y la implantación del sistema hidroeléctrico, en los cuales la geología colombiana tuvo participación directa. En el aspecto institucional asistimos a la completa evolución de las estructuras a partir de la primera institución geológica, la Escuela de Minas de Medellín, con la posterior creación de toda una serie de instituciones y ramas del poder público: Comisión Científica Nacional, Ministerio de Industrias, Servicio Geológico, Ministerio de Minas y Petróleos, Ecopetrol, Instituto Geofísico, y varias facultades de geología y escuelas de minas.

## LAS ULTIMAS EXPEDICIONES CIENTIFICAS

Los primeros adelantos en el progreso del conocimiento geológico en Colombia fueron fruto de las expediciones científicas del siglo XIX, iniciadas por Humboldt (1801) y continuadas por Rive-ro-Boussingault (1823-1833), Karsten (1844-1856), y Hettner (1882-1884). En ellas la participación nacional fue muy limitada, exceptuando el aporte de Joaquín Acosta y las buenas intenciones de la Comisión Corográfica, que por razones económicas no pudieron concretizarse. Si los trabajos de Humboldt sentaron las primeras bases para la geología colombiana, el aporte fundamental del siglo

XIX lo constituyen los trabajos de Hettner, y sobre todo de Karsten. Su *Géologie de l'ancienne Colombie Bolivarienne*, publicada en Berlín en 1886, es el primer gran clásico de los estudios geológicos en Colombia. Alfred Hettner por su parte publicó en 1892 *La Cordillera de Bogotá*, obra polifacética donde abundan datos geográficos, geológicos y botánicos. Dos colombianos ilustres, Joaquín Acosta y Ezequiel Uricoechea, hacen también contribuciones importantes en la misma época. El primero trabaja esporádicamente con la Comisión Corográfica y con Karsten, y publica además algunos trabajos en Europa; el segundo, químico y mineralogista, funda la Sociedad de Naturalistas Neogranadinos y la revista *Contribuciones de Colombia a las Ciencias y a las Artes* (1859-1861), y escribe un importante tratado titulado *Elementos de Mineralogía*, que no logra publicar.

Al final del siglo ya las mayores expediciones han terminado, y solamente se desarrollan algunas menores relativamente especializadas, como las de Reiss y Stubel (1867-1868), Sievers (1888), y Stille (1906). Característica de todas las expediciones es el haber publicado sus resultados en Europa, en idioma francés o alemán, con muy poca o ninguna difusión en Colombia, factor que no podía contribuir al desarrollo de una ciencia nacional. Sin embargo ya al terminar el siglo varios colombianos han adquirido sólida formación geológica en Europa o en los Estados Unidos, y van a ser los verdaderos impulsores de la geología colombiana. Don Vicente Restrepo estudió geología, minería y metalurgia en París y en Freiberg, fundó un laboratorio químico en Medellín, y escribió un importante estudio sobre la minería colombiana, el Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia. Don Tulio Ospina fue fundador y guía de la Escuela de Minas de Medellín y autor de trabajos fundamentales sobre la geología de Colombia.

1. Ingeominas, Apartado Aéreo 695 Popayán.

## LA ESCUELA NACIONAL DE MINAS

Antioquia, región de larga tradición minera y de vocación industrial, sintió ya en la segunda mitad del siglo XIX la urgente necesidad de una institución de enseñanza de la geología y la minería. Después de varios ensayos y antecedentes se logró en 1886 la fundación de la Escuela Nacional de Minas, que empezó sus labores en 1887 con veintidós estudiantes, para convertirse en algunos años en la principal institución científica de Colombia. Nunca se insistirá suficientemente en la importancia de la Escuela de Minas en el proceso de desarrollo de la ciencia colombiana, como principal centro de docencia y único instituto de investigación durante cincuenta años aproximadamente. Los primeros pasos no fueron fáciles sin embargo, y la escuela tuvo que ser cerrada varias veces por falta de personal pero tomó a principios del siglo, bajo la dirección de don Tulio Ospina, un impulso decisivo con notable desarrollo de la geología y la minería. En 1906 se anexa la Escuela a la Universidad de Antioquia; recobra su independencia de 1911 a 1940, cuando con el nombre de Facultad Nacional de Minas es adscrita a la Universidad Nacional. La construcción de la sede de Robledo data de 1940. Aunque la Escuela desarrolló los diversos campos de la ingeniería, conservó su vocación geológico-minera gracias a la obra de científicos como Tulio Ospina, Juan de la Cruz Posada, y Roberto Wokittel. Notable entre todos fue don Tulio Ospina, ingeniero de minas de la Universidad de California y fundador de la Escuela. Su libro titulado **Reseña de la Geología de Colombia, especialmente de Antioquia**, publicado en 1911, es una obra fundamental en la historia de los conceptos geológicos en Colombia. Juan de la Cruz Posada, también alumno de la Universidad de California, fue no solamente brillante catedrático sino activo ingeniero y buen administrador. Su **Bosquejo geológico de Antioquia** fue publicado en 1936 en los Anales de la Escuela Nacional de Minas. El alemán Roberto Wokittel fue profesor de la Escuela en el campo de la geología económica.

## EL MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y LA COMISION CIENTIFICA NACIONAL

Las primeras décadas del siglo XX se caracterizan en Colombia por el nacimiento de una incipiente industrialización, los primeros pasos para la creación de la industria petrolera, y la construcción intensiva de la red ferroviaria. El Ministerio de Industrias es creado en esta época para aunar todos los esfuerzos en el sentido de crear la estructura industrial del país, y a él corresponde desarrollar entre otros el ramo de la minería y de los asuntos petroleros. Dentro del Ministerio funciona una Sección Técnica que hacia 1930 es ya un pequeño Servicio Geológico, con geólogos (Enrique Hubach, Ricardo Lleras Codazzi, Emil Grosse), ingenieros de minas (Enrique Uribe White), y químicos (Guillermo Olaya Kohn). Entre los notables logros del Ministerio está la creación de la primera publicación colombiana sobre asuntos geológico-mineros,

el **Boletín de Minas y Petróleos**, cuyo primer número aparece en abril de 1929. En el Boletín se publican los estudios geológicos y mineros de la Sección Técnica, las leyes y decretos relacionados con el sector, los contratos firmados por el gobierno colombiano en materia de minería y de petróleo, y estadísticas de producción minera y petrolera, de tal suerte que esta publicación es una valiosísima fuente histórica sobre la geología y la minería de Colombia. El Boletín de Minas y Petróleos es publicado hasta 1950, y es reemplazado por el **Boletín de Petróleos** y el **Boletín de Minas**, que comienzan a aparecer en 1951 y 1954 respectivamente.

Segundo gran adelanto del Ministerio es la publicación a partir de 1933 de una importantísima serie, la **Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia**, en la cual se dan a la luz las más importantes investigaciones hechas por la Comisión Científica Nacional y el Servicio Geológico, instituciones de las cuales se hablará más adelante. La compilación aparece hasta 1960, completando diez volúmenes que constituyen uno de los más importantes patrimonios geológicos del país, por cuanto en ellos se encuentran los principales trabajos de Robert Scheibe, Benjamín Alvarado, Enrique Hubach, José Royo y Gómez, y muchos otros.

Paralelamente con la Sección Técnica del Ministerio de Industrias empieza a funcionar la primera institución de investigaciones geológicas, la Comisión Científica Nacional, creada en 1917. Por falta de personal colombiano calificado la Comisión empieza a trabajar con científicos europeos principalmente. La Comisión funciona, con algunos altibajos, hasta 1940 cuando al crearse el Ministerio de Minas y Petróleos es reemplazada por el Servicio Geológico Nacional. Sus trabajos cubren vastos campos, tanto de la geología básica de Colombia como de la búsqueda de recursos mineros y de la ingeniería geológica. El geólogo alemán Robert Scheibe, establecido en Colombia desde 1914 al servicio de empresas mineras particulares, fue el primer director de la Comisión, y permaneció en el cargo, con una interrupción de dos años, hasta su muerte en 1923. Su obra científica sigue la línea teórica de Tulio Ospina y es de gran importancia en el progreso de la evolución de la geología básica de Colombia. De igual importancia es la del geólogo Emil Grosse, quien trabajó de 1920 a 1926 para los ferrocarriles de Antioquia en búsqueda de carbón. Resultado de esos años de investigaciones fue la magistral obra **El Terciario Carbonífero de Antioquia**, no superada hasta ahora. Grosse pasó a ser director de la Comisión Científica Nacional en 1927, y permaneció en Colombia hasta 1937, año en el cual regresó a Alemania. Sus principales publicaciones se encuentran en la **Compilación de Estudios Geológicos Oficiales**. El colombiano Ricardo Lleras Codazzi, por su parte, trabajó en la Comisión, en el Ministerio de Industrias, y en la Universidad Nacional, produciendo investigaciones de altísima calidad. Fue principalmente mineralogista y petrógrafo, y escribió importantes tratados entre los

cuales el más conocido es la **Introducción al estudio de los minerales de Colombia**, publicado en 1903.

## EL DESARROLLO GEOLOGICO-MINERO DE LA DECADA DEL CUARENTA

En la década del cuarenta asistimos a una verdadera explosión en el desarrollo de la geología colombiana, por razones tanto de carácter externo como de carácter interno. La Segunda Guerra Mundial ha interrumpido numerosas actividades, incrementado la demanda de algunas materias primas minerales, y perturbando el abastecimiento de otras materias primas que Colombia importa. El país ha logrado por otra parte un cierto grado de industrialización, con creciente demanda de minerales y de energía eléctrica, y la necesidad de una red de comunicaciones más amplia, haciéndose necesaria una campaña de exploración minera sistemática y de reconocimiento geológico del territorio. Durante la década del cuarenta ocurren hechos importantes como la creación del Ministerio de Minas y Petróleos, y la fundación del servicio Geológico Nacional, de Ecopetrol (1951) y del Instituto Geofísico de los Andes Colombianos.

La creación del Ministerio de Minas y Petróleos se convirtió en una imperiosa necesidad en la década de los treinta, dado el desarrollo que habían adquirido la industria petrolera y la minería de carbón. El Ministerio fue creado en 1940, para trazar políticas de explotación de recursos mineros y petroleros, y para explorar en busca de nuevos recursos. Esta última tarea fue encomendada al nuevo instituto del Ministerio, el Servicio Geológico Nacional, fundado igualmente en 1940.

El aporte de la industria petrolera al desarrollo de la geología colombiana es de gran importancia en la medida en que los estudios hechos para la exploración petrolera son fundamentales para el conocimiento geológico de Colombia. Desde tal punto de vista son notables los trabajos de Beck, Garner, Castor, Wheeler, Butler, Oppenheim, Nygren, y muchos otros. La institucionalización de la geología del petróleo en Colombia ocurre en 1951 con la fundación de la empresa Colombiana de Petróleos, ECOPEPETROL, al terminar las primeras concesiones petroleras y deber tomar el país su control y explotación.

Simón Sarrazola S. J., funda en 1941 el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, adscrito a la Universidad Javeriana, entidad que se encargará de llevar el registro de la actividad sísmica del país, con una red básica de observatorios. Verdadero impulsor del instituto es Jesús Emilio Ramírez S. J., importante figura de la ciencia colombiana, director durante más de treinta años.

## EL SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL (1940 - 1969)

Con la creación en 1940 del Ministerio de Minas y Petróleos se reemplaza la Comisión Científica

Nacional por una nueva institución adscrita al Ministerio, el Servicio Geológico Nacional. Sus funciones son levantar el mapa geológico del país, evaluar el potencial minero conocido, y explorar en busca de nuevos depósitos, y su creación coincide con la del Instituto de Fomento Industrial, entidad que auspicia grandes proyectos de explotación y utilización de recursos mineros. Las dos instituciones trabajan conjuntamente en proyectos como la Acería de Paz del Río, la Planta de Soda de Zipaquirá, Cementos Boyacá, y otros.

El Servicio Geológico empieza a funcionar con varias secciones: Estratigrafía, Paleontología, Petrografía, Geología Económica, Ingeniería Geológica, Biblioteca, y Museo. El período 1940-1950 corresponde a un desarrollo incipiente, que desemboca en una verdadera Edad de Oro, 1950 a 1960 aproximadamente. De 1953 a 1957 el Servicio toma el nombre de Instituto Geológico Nacional, al cual se anexan la Planta Metalúrgica de Medellín y los laboratorios de Fomento Minero de Pasto e Ibagué, pero sus funciones siguen siendo fundamentalmente las mismas. En 1957 el Instituto inicia la publicación del Boletín Geológico, la más importante revista científica de la geología colombiana, la cual sigue apareciendo en la actualidad.

Entre los numerosos científicos que trabajaron en el Servicio Geológico vale la pena destacar algunos de los más importantes. Enrique Hubach, nacido en Chile y de origen alemán, trabajó en Colombia desde 1923 hasta su muerte en 1968. En su obra, que quizá pueda ser considerada como la más importante de la geología colombiana en este siglo, tocó muchos aspectos de la geología del país pero sus principales aportes están en el campo de la estratigrafía y, parcialmente, en el de la geología económica. El austríaco Hans Burgl, traído por Hubach al Servicio Geológico, se destacó en las investigaciones paleontológicas y estratigráficas, mientras que el español José Royo y Gómez fue ante todo paleontólogo. A él se debe la creación y organización del Museo Geológico, valioso centro que ha seguido funcionando hasta la actualidad, inicialmente dentro del Servicio Geológico y posteriormente dentro de INGEOMINAS. Benjamín Alvarado fue, por su parte, el más notable geólogo colombiano del Servicio Geológico, del cual fue el primer director. Trabajó con Hubach y publicó importantes trabajos sobre la geología de Colombia.

## DESARROLLOS RECIENTES

El desarrollo de la geología colombiana en la segunda mitad del siglo XX se caracteriza por la diversificación y la institucionalización de las investigaciones y de las actividades geológicas. Un primer paso en tal dirección es la fundación de escuelas de geología, entre las cuales hay que mencionar la carrera de Geología y Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia (1956) y la Facultad de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander (1968).

De 1963 a 1968 paralelamente al Servicio Geológico funciona el Inventario Minero, institución que tiene como objetivo evaluar la riqueza del país, pero ante la falta de estudios básicos el Inventario debe limitarse a iniciar una cartografía sistemática. En 1969 son unidas tres instituciones: el Servicio Geológico Nacional, el Inventario Minero, y el Laboratorio Químico Nacional, para formar el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, INGEOMINAS. Sus funciones son levantar el mapa geológico del país, evaluar los recursos mineros conocidos y explorar nuevos depósitos. De esta manera se institucionalizan las investigaciones geológicas sistemáticas en Colombia.

El número de revistas científicas especializadas en geología y publicadas en Colombia ha venido en creciente aumento desde cuando apareció el Boletín de Minas. Actualmente se editan ocho revistas geológicas en diferentes institutos y universidades. Los congresos geológicos tienen similar desarrollo desde el primero, realizado en Bogotá en 1969. Colombia ha organizado varios congresos geológicos internacionales, entre ellos el Congreso Latinoamericano de Geología en 1985 en Bogotá.

Los geólogos colombianos han conformado varias sociedades, entre las cuales hay que señalar la Sociedad Colombiana de Geología, encargada de organizar los congresos geológicos en Colombia, la Asociación de Geólogos de la Universidad Nacional, AGUNAL, y la Asociación de Ingenieros Geólogos de Minas y Petróleos, AGEMPET. En 1974 se promulgó la Ley 9 que reglamenta el ejercicio de la profesión en Colombia.

## LA GEOLOGIA Y EL DESARROLLO ECONOMICO DEL PAIS

El aporte de la geología al desarrollo económico del país tiene sus antecedentes ya en la época colonial, desde el momento en que la minería tuvo que

acudir a la geología, generalmente a un nivel rudimentario, para mejorar las explotaciones o para encontrar nuevos yacimientos. Don José Celestino Mutis entendió el problema, hasta el punto de enviar con sus propios fondos a Clemente Ruiz a Suecia a estudiar minería y mineralogía, para luego emplearlo en las minas de El Sapo. Durante la independencia el mismo Francisco José de Caldas tuvo que dedicarse a la minería en Antioquia, para abastecer la fábrica de pólvora que había organizado en Rionegro por orden de Juan del Corral. Con las necesidades de la industrialización, el papel de la geología toma cada vez mayores proporciones y se vuelve fundamental al planificarse la red ferroviaria, el sistema hidroeléctrico, y el desarrollo de la gran industria. La época crucial en ese aspecto es la década del cuarenta, en la cual la geología se integra institucionalmente y en forma tangible al proceso de desarrollo técnico-industrial con la creación en 1940 del Ministerio de Minas, el Servicio Geológico Nacional, y el Instituto de Fomento Industrial.

La crisis originada por la Segunda Guerra Mundial creó una serie de necesidades, muchas de ellas relacionadas con el abastecimiento en materias primas minerales. El Instituto de Fomento Industrial tuvo precisamente como uno de sus objetivos desarrollar la minería para que esta a su vez pudiera suplir las necesidades de la industria en materias primas, lo cual explica el que entre los proyectos adelantados por el IFI entre 1941 y 1973 el 27% corresponda al sector minero. Entre ellos los más notables son la Siderúrgica de Paz del Río, la Planta de Soda de Zipaquirá, y Cementos Boyacá. En estos casos y muchos otros más se contrató al Servicio Geológico para la ejecución de estudios de geología y cálculos de reservas. Similar participación corresponde a la geología en el desarrollo de la industria hidroeléctrica y las grandes obras de ingeniería civil, en las cuales los estudios geológicos son necesidad imperiosa.

## BIBLIOGRAFIA

- DURAN, L. G., 1973. *Reseña Histórica de la Geología en Colombia*. En *Historia Extensa de Colombia*. Bogotá, Vol. 20, 1973.
- ESPINOSA, A., 1984. *Historia de las Investigaciones Geológicas en Colombia*. Notas a partir de la segunda mitad del siglo XIX. Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Vol. 8, p. 211-252 Bogotá.
- GROSSE, E., 1926. *Estudio Geológico del terciario carbonífero de Antioquia*. Berlín. Dietrich Reiner, Editores.
- KEHRER, G., 1933. *El carbonífero del borde llanero de la Cordillera Oriental*. Bogotá. Bol. de Minas y Petróleos, Vol. IX, No. 45-54.
- KARSTEN, H., 1886. *Géologie de L'ancienne Colombie Bolivarienne, Venezuela, Nouvelle Grenade et Equateur*. Friedlaender 8 Sohn, Berlín, 62 p.
- LLERAS CODAZZI, R. 1903. *Introducción al estudio de los minerales de Colombia*, Bogotá Imprenta Nacional, 58 p.
- OSPINA, T., 1911. *Reseña sobre la Geología de Colombia y especialmente del antiguo departamento de Antioquia*. Imp. La Organización Medellín, 102 p. Reeditada 1939 Tip. Sansón, Medellín, 128 p.
- POSADA, J. C., 1936. *Bosquejo Geológico de Antioquia*. Medellín. Anales de la Escuela Nacional de Minas, No. 38, 50 p.
- REISS, E., STUEBEL, A. 1892-1899. *Reisen in Sued-Amerika*. Berlín, Geologische in der Republik Colombia I-II petrographie.
- RESTREPO, V. 1979-1883. *Estudio sobre las minas de oro y plata de Colombia*. Anales de Instrucción Pública, Bogotá, Medellín. Quinta edición FAES, 259 p.

# LA OBRA DE PIERRE BOUGUER EN LA NUEVA GRANADA Y EL DESCUBRIMIENTO DE LA GRAVIMETRIA

Por Armando Espinosa B.<sup>2</sup>

La verdadera historia de los hombres es la historia de las actividades humanas. La tradicional historia política y militar sólo constituye el resumen o la cristalización de todo el trajín humano, y es para el estudioso un simple marco de referencia alrededor del cual se teje la auténtica aventura del hombre y de las sociedades. Dentro de esta perspectiva, la ciencia, con sus logros, sus vacilaciones, y sus limitaciones, adquiere una nueva dimensión, pues viene a constituirse en un guía fundamental de la actividad humana. Nada más característico de un pueblo que su nivel de conocimientos, sus realizaciones y sus industrias. Ellos miden sus grados de creatividad y de originalidad, que son la esencia del verdadero desarrollo. Estos lineamientos nos han conducido, inicialmente al estudio de las ciencias, luego al de la historia del pensamiento científico.

Queremos referirnos en esta ocasión a los trabajos científicos de una expedición enviada al Virreynato de la Nueva Granada, más exactamente a la Presidencia de Quito, en 1735. Sus escritos y relatos conmovieron en su época no solamente al mundo de la ciencia sino al de la filosofía, al de las letras, y hasta al mundo de la política, y hoy en día nos conmueven aún a los hombres de ciencia y a los historiadores. Se trata de la Expedición Franco-Española, conocida familiarmente con el nombre de Expedición de La Condamine. Entre los numerosos y muy valiosos trabajos de la Expedición destacaremos las contribuciones que el matemático y astrónomo Pierre Bouguer hizo a la geografía, a la geología, y a la geofísica, y el descubrimiento de una nueva rama de la geofísica: La gravimetría. Los

resultados que vamos a presentar son totalmente novedosos, pues algunos grandes aportes de Bouguer han sido desconocidos, incluso en su propio país.

Al empezar el siglo XVIII, en el hervidero de las ideas del naciente siglo de las Luces, surgen confrontaciones y polémicas científicas y filosóficas. Los grandes descubrimientos del siglo XVI habían confirmado que la Tierra era redonda, y desde entonces los geógrafos y los cartógrafos empezaron a considerarla como una esfera. Finalizando el siglo XVII, Newton lanza la hipótesis de una Tierra achatada hacia los polos por efecto de la rotación. Entonces empieza una de las más célebres controversias, no solamente científicas sino filosóficas, comerciales, y hasta políticas. El mundo se divide en dos bandos: aquellos que alrededor de Newton creen en una Tierra aplastada hacia los polos, y los que con el grupo de los astrónomos franceses de la familia Cassini afirman que la Tierra es más bien alargada hacia los polos. La polémica es un motivo más de enfrentamiento entre dos escuelas filosóficas, la inglesa y la francesa, y entre dos naciones cuyas rivalidades son ancestrales. La gran figura de Voltaire entra en la contienda en favor de Newton, después de haber pasado varios años en Inglaterra y tras haber traído las ideas filosóficas inglesas a Francia. Los Cassini son cartógrafos oficiales de la corona francesa, y los marinos y comerciantes comienzan a quejarse de algunas imprecisiones en sus mapas. Hacia 1730 la figura de la Tierra, como comúnmente se convino llamar al asunto, es uno de los principales problemas del mundo y entonces el ministro Maurepas logra convencer al rey Luis XV para que financie un grandioso proyecto de la Academia de Ciencias de París cuyo objetivo será encontrar una solución a la cuestión. Se enviarán dos expediciones: una hacia el círculo polar, la otra hacia el círculo ecuatorial. Ambas medirán la distancia correspondiente

1 Disertación presentada en la toma de posesión como Académico Correspondiente, el 23 de marzo de 1988.

2 INGEOMINAS, A.A. 695, Popayán.

a un grado de latitud. Si las dos distancias son iguales la Tierra es esférica; si una de las distancias es mayor, entonces se deducirá si la Tierra es achatada o alargada hacia los polos.

El astrónomo y matemático Pierre Bouguer conforma, junto con Carlos María de La Condamine, Luis Godin y José Jussieu la expedición al Ecuador, la cual es enviada a la entonces llamada Presidencia de Quito, acompañada por los jóvenes científicos españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa.

Pierre Bouguer es conocido en el mundo de la ciencia por su participación en los trabajos geodésicos de la Expedición Franco-Española. Sin embargo, además del aspecto geodésico Bouguer, trabajador incansable, se ocupó de muchos problemas científicos, y publicó sus resultados en las obras sobre la expedición. Paradójicamente, tal vez dada la resonancia que tuvo en la época de Bouguer la discusión sobre la forma de la Tierra, los trabajos geodésicos opacaron completamente el resto de la obra. En ella se encuentran, no obstante, contribuciones de gran importancia que no han sido equitativamente evaluadas por los historiadores de la Ciencia.

Las observaciones y anotaciones de Bouguer sobre la Nueva Granada son de varios tipos. Aunque Bouguer, como ya se ha dicho, era ante todo matemático y astrónomo, poseía una inteligencia inquieta y polifacética, y sus intereses cubrían campos tan diversos como la geografía, la náutica y la óptica, fuera de los ya mencionados. Durante la expedición pudo recorrer varias provincias de la Presidencia de Quito, y al terminar los trabajos geodésicos se separó de sus compañeros para regresar a Francia por la vía Quito-Popayán-Cartagena. Durante el viaje realizó muchas observaciones, e hizo los primeros levantamientos topográficos del Magdalena. Su aporte más importante está sin embargo en el descubrimiento de las leyes de la gravimetría, hecho en las faldas del Chimborazo, con el cual fundó una nueva disciplina de las Ciencias de la Tierra.

Los resultados de las investigaciones de Bouguer en Suramérica aparecen esencialmente en dos obras. La primera es **La Figura de la Tierra**, escrita por Bouguer y su compañero de viaje Carlos María de La Condamine. La segunda es la **Relación Abreviada del Viaje al Perú**, más conocida como **Viaje al Perú**, presentada por Bouguer a la Academia de Ciencias de París en 1744. Si **La Figura de la Tierra** es por excelencia la obra científica de la expedición, el **Viaje al Perú**, más general y descriptivo, no deja de presentar gran interés; ante todo por su diversidad, pues en él Bouguer da rienda suelta a sus numerosas inquietudes científicas y se revela agudo observador, luego por su importante contribución geográfica.

Pierre Bouguer, cuyo retrato hecho por Peronneau está en el Museo del Louvre, nació en Croisic, Baja Bretaña (Francia) el 16 de Febrero de

1698. Con la ayuda de su padre, profesor de hidrografía, perfeccionó sus conocimientos y obtuvo a la edad de quince años el título de profesor. En 1731 había ya ganado tres premios de la Academia de Ciencias como miembro asociado, y en 1735 obtuvo la categoría de miembro ordinario.

En 1735 la Academia de Ciencias organiza la célebre expedición al Ecuador. Bouguer es escogido como miembro de la expedición, y encargado de la parte astronómica. Iniciada en el puerto de La Rochelle en mayo del mismo año, la expedición sigue el itinerario Cartagena-Panamá—Guayaquil-Quito. Los trabajos duran hasta 1743, cuando sus miembros se separan en Quito para regresar cada uno por su lado.

De regreso a Francia en 1744 Bouguer sigue estudiando, además de los materiales traídos de Suramérica, cuyos resultados publica en 1749 con La Condamine, varios temas de física y de navegación. En el campo de la óptica hace notables contribuciones que le valen la celebridad, las cuales reúne en su último libro, el **Tratado de óptica sobre la gradación de la luz**. Bouguer muere en París en 1758. Su curiosa personalidad hizo perder reconocimiento a sus importantes trabajos en Suramérica. En favor de su compañero, menos brillante científicamente, Carlos María de La Condamine. Bouguer fue en efecto persona severa, poco comunicativa y hasta taciturna. Se dice que sólo contaban para él sus trabajos científicos, los que llegó a querer como a su propia vida. No es de extrañar entonces que La Condamine, hábil diplomático y hombre de mundo, haya recibido todos los honores de la expedición. Esta se conoce comúnmente como la Expedición de La Condamine, aunque si por resultados científicos nos guiáramos, bien pudiera llamarse más bien Expedición de Bouguer.

## LA OBRA GEOGRAFICA

Toda la obra de Bouguer sobre el norte del continente Suramericano está impregnada de observaciones geográficas. Bouguer es en realidad uno de los últimos cronistas del período colonial, y el **Viaje al Perú** es particularmente rico en anotaciones sobre todas las regiones que la expedición visitó. Bouguer no se limitó a describir las montañas, la flora, la fauna y las riquezas minerales de la zona, sino que se extendió en observaciones sobre los habitantes, sus costumbres, sus condiciones de vida y otros aspectos humanos. Es todo esto lo que se podría llamar la obra geográfica dispersa.

La obra geográfica propiamente dicha fue realizada por Bouguer durante su regreso a Europa por la vía Quito-Cartagena, por el río Magdalena. Quiso rivalizar con su compañero La Condamine, quien en la compañía del quiteño Pedro Maldonado regresó a Francia bajando el río Amazonas y ¿levantando el mapa de la cuenca? Es bien posible que sí. En todo caso Bouguer es bien claro al afirmar que al iniciar el viaje uno de los objetivos era estudiar el río Magdalena y que prefirió el paso de Guanacas,

y no el del Quindío, para llegar más rápidamente a sus orillas.

Es precisamente en el levantamiento del primer mapa del Magdalena donde reside la principal contribución geográfica de Bouguer a la Nueva Granada. El trabajo consistió en la determinación de la posición geográfica en términos de latitud y longitud, de una serie de puntos para levantar un mapa. En el Viaje al Perú aparecen las tablas de resultados. La longitud fue determinada con relación a la longitud de Quito y verificada en Cartagena, donde ya Bouguer había hecho mediciones durante el viaje de ida.

## LA OBRA GEOLOGICA

Si la obra de Pierre Bouguer es rica en anotaciones geográficas, lo es más en observaciones geológicas. En Bouguer se conjugan el físico y el naturalista para dar a la obra científica una notable originalidad. Si bien es cierto que muchos antes de él se preocuparon por las propiedades físicas de la Tierra, quizás nadie lo hizo con un enfoque naturalístico. Sobre el particular, Bouguer tuvo la fortuna de haber viajado; en sus obras se percibe claramente hasta qué punto sus viajes de exploración en Suramérica despertaron en él al naturalista. Su mérito es aún mayor si se tiene en cuenta que hasta la primera mitad del siglo XVII la ciencia geológica se encontraba en un estado verdaderamente incipiente.

La obra geológica de Bouguer se encuentra prácticamente circunscrita a los capítulos III y IV del Viaje al Perú, consagrados respectivamente a la naturaleza del terreno, los volcanes y terremotos, y al regreso de Quito a Cartagena por el Magdalena. El primer aspecto que llama la atención de Bouguer es la riqueza minera de la región, especialmente de la Provincia de Popayán, en la cual estaba incluido el Chocó en aquella época. Distingue dos tipos de depósitos: el de las partes bajas de la cordillera donde el oro, según él, ha sido depositado por el agua (oro aluvial en términos actuales), y el de mina propiamente dicho, situado en las partes altas de las montañas (oro filoniano). Bouguer sólo pudo ver yacimientos del primer tipo, y da de ellos una descripción relativamente detallada, no solamente en lo que se refiere a los depósitos mismos sino en cuanto a las técnicas utilizadas para su explotación. La metalurgia del oro fue uno de los puntos de interés de Bouguer, quien tuvo el mérito de publicar una de las primeras descripciones de los métodos utilizados en el Chocó para beneficiar el oro. Como, por obvias razones, los autores españoles publicaron pocos datos sobre el tema, las informaciones de Bouguer son muy valiosas. Señala que se utiliza con frecuencia la técnica de la batea, añadiendo a veces algunos zumos de plantas, que juegan el papel aglutinante. En otros casos, cuando hay presencia de minerales magnéticos, se utiliza el imán para separarlos. Pero sobre todo Bouguer describe por primera vez una técnica utilizada para separar el platino del oro, la amalgamación con mercurio. Bouguer anota que el platino es una

“especie de pirita particular del país”, y que son rudimentarios los procedimientos para separarla, dando luego una descripción de ellos.

Los datos de Bouguer son muy interesantes para efectos de una discusión sobre el descubrimiento del platino. Este ha sido atribuido tradicionalmente a Don Antonio de Ulloa, compañero de Bouguer en la expedición, por su referencia al platino en el libro titulado **Relación Histórica de un Viaje a la América Meridional**, publicado en 1748, un año antes del **Viaje al Perú** de Bouguer. Este descubrimiento es actualmente cuestionado por nosotros, con base en documentos de la Casa de Moneda de Santa Fé, que comprueban que ya en 1726 el platino se separaba del oro y se dosificaba, en operaciones rutinarias de la Casa de Moneda. Las descripciones de Bouguer comprueban que también los mineros del Chocó hacían separación del platino con técnicas que, lógico es suponerlo, debían datar de al menos el principio del siglo XVIII.

Sobre los volcanes, las anotaciones de Bouguer son bastante pertinentes. Empieza señalando que muchas capas que se observan en los valles profundos del Ecuador, algunas veces bastante alejados de posibles volcanes, son, no el resultado de depósitos de aluvión, sino productos arrojados por los volcanes. Esta identificación de fenómenos volcánicos con base en la sola observación de las rocas es bastante notable para la época. En el siglo XVIII por ejemplo, se desconoció el carácter volcánico de la gran región de Auvernia en Francia y fue solamente hacia 1765 cuando, después de grandes polémicas, Jean-Etienne Guettard pudo imponer su hipótesis sobre los volcanes de la Cadena del Puy de Dome.

Bouguer da descripciones bastante detalladas del volcán Cotopaxi, y de la erupción de 1742, de la cual fue testigo directo. Uno de los fenómenos que describe con un admirable acierto es el efecto de un flujo de lodo que fue provocado por la erupción. Verdadero maestro de la observación, Bouguer saca conclusiones que quizás muchos geólogos del siglo XX no lograrían, en particular sobre el origen y mecanismo del flujo. Igual pertinencia muestra Bouguer al tratar el problema de los terremotos. Combate muchas ideas supersticiosas de la época y plantea interesantes opiniones sobre sus causas, después de señalar varios terremotos notables que pudo observar, o al menos sus consecuencias.

En geomorfología, el Viaje al Perú contiene algunas interesantes y novedosas ideas, especialmente en cuanto al origen de los valles. Bouguer observa los profundos cañones por donde corren los ríos cerca de Quito y concluye que fueron formados precisamente por la erosión de los mismos ríos.

## LA GRAVIMETRIA

La contribución fundamental de Bouguer está en el descubrimiento de la Gravimetría. La aceleración de la gravedad, tomada de la fórmula general

de la ley de Newton ( $a = F/M$ ) y aplicada a la masa de la Tierra ( $g = M/F$ ) es considerada en los problemas de física general como una constante cuyo valor es  $9.81 \text{ m/s}^2$ . Este valor puede sin embargo sufrir pequeñas variaciones, tan pequeñas que sólo se pueden medir en unidades del orden  $10^{-5} \text{ g}$ . Dichas variaciones son significativas en términos geológicos, hasta tal punto que su estudio, la gravimetría, constituye en la actualidad uno de los más importantes métodos de exploración minera y petrolera de investigación geológica básica.

El principio fundamental de la investigación gravimétrica consiste en calcular, para cada estación, el valor  $g$  ideal, según un método teórico, y compararlo con el valor obtenido por medición instrumental. Si alguna diferencia aparece, positiva o negativa, entre los dos valores, se hace entonces necesario replantear el modelo inicial en términos de exceso o ausencia de masa. Las diferencias entre  $g$  teórico y  $g$  real son llamadas anomalías de gravedad.

¿Cómo se puede calcular el valor  $g$  teórico? Gracias al modelo llamado aún en la actualidad Modelo de Bouguer, cuyos términos se pueden plasmar genéricamente en la ecuación:

$$g_{\text{teórico}} = g_{\text{lat}} - g_{\text{alt}} + g_{\text{Bouguer}} - g_{\text{topo}}$$

en el cual

$$g_{\text{lat}} = 978031.8 (1 + 0.005 \text{ Sen}^2 \phi - 0.0000058 \text{ Sen}^2 2 \phi)$$

$$g_{\text{alt}} = 0.3086 \cdot h$$

$$g_{\text{Bouguer}} = 0.0419 \cdot h \cdot \rho$$

$$g_{\text{Topo}} = \Delta_{\text{gr-}} + \Delta_{\text{gr+}}$$

donde:

$\phi$  latitud de la estación

$h$  altura de la estación

$\rho$  densidad de las rocas alrededor de la estación

$\Delta_{\text{gr+}}$  efecto producido por relieves positivos.

$\Delta_{\text{gr-}}$  efecto producido por relieves negativos

En resumen, según este modelo la gravedad en un punto cualquiera de la Tierra depende de su latitud, de su altura, de la capa de terreno que se encuentra entre la altura cero y la altura de la estación, y de la forma del relieve alrededor de la estación.

El llamado modelo de Bouguer en su forma moderna es el resultado de los adelantos que desde Bouguer hasta la actualidad se han venido sumando al conocimiento de la gravimetría. A pesar de su nombre, Bouguer no lo formuló de esa manera aunque sí planteó teóricamente cada uno de sus términos, de tal suerte que su paternidad sobre el modelo resulta indiscutible. Para entender cómo

llegó Bouguer a sus planteamientos hay que considerar algunos antecedentes a sus investigaciones.

Cuando Bouguer inicia sus trabajos, hacia 1736, ya se había comprendido que la gravedad varía con la latitud, en particular gracias a los trabajos de Cassini y sus discípulos. Cassini, después de hacer mediciones de  $g$  en las cercanías de París, envió a su alumno Jean Richer a hacer el mismo tipo de experimentos cerca de la línea ecuatorial, en Cayena más precisamente. Aunque el propósito de Cassini era demostrar que el radio ecuatorial era menor que el radio polar (propósito que obviamente no logró) sí observó, o por lo menos planteó, que existían variaciones en función de la latitud debido a la diferencia de los radios ecuatorial y polar. La otra causa de las variaciones de  $g$  con la latitud, a saber la influencia de la fuerza centrífuga de la rotación terrestre, ya había sido propuesta por Huygens. Bouguer hace análisis matemático detallado de la fórmula y sobre esta base presenta un cuadro de variación de  $g$  en términos de acortamiento de la longitud del péndulo en función de la latitud, utilizando la relación entre la gravedad y la longitud del péndulo cuando el período de este es constante.

La disminución de la gravedad con la altura era conocida en la época de Bouguer, puesto que se puede deducir de la ley de Newton.

$mg = K M m/d^2$  en el cual  $d$  es el radio de la Tierra.

Conocidos, o al menos planteados, los dos primeros términos de la variación de  $g$ , quedaban entonces en la época de Bouguer por formular los dos términos siguientes, los cuales en realidad no hacen más que resumir el efecto de la contribución de las masas montañosas y de sus irregularidades.

Una de las contribuciones importantes de Bouguer al modelo teórico de la gravedad es el planteamiento del tercer término de la ecuación general. Hasta entonces se había obtenido el valor de  $g$  en función de la latitud y de la altura de la estación, sin tener en cuenta la atracción de las masas situadas entre la estación y el nivel cero.

Bouguer observó que la disminución de  $g$  al pasar del nivel del mar (Guayaquil) a Quito no era tan grande como teóricamente se hubiera podido esperar y dedujo que algún factor debía hacer aumentar la gravedad. Concluyó que la capa de terreno comprendida entre las dos estaciones, Guayaquil y Quito, ejerce una atracción positiva que compensa parcialmente la disminución por la distancia. Bouguer dedujo que la atracción era ejercida por la capa concéntrica situada entre las dos estaciones, e hizo observaciones que le condujeron a interesantes conclusiones, principalmente que la densidad de la Tierra debe ser menor en la superficie que en el centro y que la variación debe ser progresiva. En los modelos actuales la capa situada entre el nivel cero y la altura de la estación es considerada como plana e infinita, y es llamada, en honor a Bouguer, la Meseta de Bouguer.

Sin duda alguna, la más notable contribución de Bouguer al conocimiento de la gravedad terrestre está en el descubrimiento de que las masas montañosas ejercen en sus cercanías atracción sobre la plomada, lo cual indica que de alguna manera influyen el valor de  $g$ . Es en el imponente volcán Chimborazo donde Bouguer va a realizar mediciones que le van a demostrar que la masa del volcán desvía la vertical determinada por la plomada.

Situándose en dos estaciones, al norte y al sur del Chimborazo, Bouguer pudo medir el ángulo de desviación. El ángulo formado por las dos verticales ideales es igual a la diferencia de la latitud entre las dos estaciones; el ángulo de las dos verticales desviadas es medible astronómicamente; con este método Bouguer midió la desviación de la plomada. El experimento de Bouguer fue confirmado en 1744 por Maskelyne en Escocia, estudiando la desviación producida por el monte Shehallian.

Consciente de la importancia de su descubrimiento, Bouguer se apresuró en hacerlo conocer. Prácticamente sobre el mismo terreno de operaciones, escribió una memoria titulada **Memoria sobre las atracciones y sobre la manera de observar si las montañas son capaces de producirlas**. Firmada en Riobamba el 30 de diciembre de 1738 (los trabajos en el Chimborazo se realizaron durante el mismo mes de diciembre), la Memoria fue enviada inmediatamente a París, y fue leída en la Academia de Ciencias en Octubre de 1739, es decir casi cinco años antes del regreso de Bouguer. Posteriormente fue incluida como capítulo IV La Figura de la Tierra.

La atracción de las masas montañosas es, en la formulación moderna del modelo de Bouguer, el último término de la ecuación y recibe el nombre

de Efecto de Relieve. Obviamente, el método de cálculo ha adquirido una gran precisión; sin embargo el planteamiento básico está claramente expresado en la Memoria de Bouguer.

De una manera general, los diversos términos del modelo conocido actualmente como el Modelo de Bouguer fueron formulados, o al menos planteados teóricamente por Bouguer. El trabajo de sus sucesores no consistió en otra cosa que en mejorar los métodos de cálculo. No se sabe sin embargo quién bautizó el modelo con el nombre de Bouguer, aunque ciertamente no fue el mismo Bouguer. Se supone que pudo ser el matemático Boscovich. Cualquiera que haya sido la evolución post Bouguer, y cualquiera que sea la evolución futura de un modelo siempre mejorable, hay que admitir que Pierre Bouguer legó a la Ciencia un planteamiento teórico que no solamente puede ser tomado como ejemplo de rigor científico, sino que por sus incidencias en varias ramas de las Ciencias, como la geodesia, la topografía, la geología, la prospección minera, y otras, debe ser considerado como un aporte mayor al progreso del conocimiento.

#### AGRADECIMIENTOS

Al ingresar a la Academia Colombiana de Ciencias deseo hacer un reconocimiento a las dos Instituciones que me han permitido desarrollar mi trabajo científico: mi Alma Mater, la Universidad de Ginebra (Suiza), y el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras, INGEOMINAS, a quien dedico este honor.

Agradezco igualmente al personal de la Biblioteca Pública Universitaria, BPU, de Ginebra, por su colaboración en las búsqueda de documentos sobre Pierre Bouguer.

# Discurso pronunciado por el presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales doctor Luis Eduardo Mora-Osejo con ocasión del homenaje póstumo que la Universidad de La Salle rindiera al Hno. Daniel González Patiño (1909-1988), el 3 de noviembre de 1988.

Hno. Antonio Bedoya Cardona, Provincial y Presidente del Consejo Directivo,  
Dr. Pedro Martín Leyes, Ministro de Comunicaciones,  
Hno. Juan Vargas Muñoz, Rector de la Universidad de La Salle,  
Señoras y Señores:

Cuán honroso resulta para mí, por gentilísima invitación del Sr. Rector de la Universidad de La Salle, a quien agradezco inmensamente, y como Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias, llevar la palabra con ocasión de este Acto y Homenaje póstumo, que la Universidad de La Salle rinde a uno de sus más eximios Maestros, el Hno. Daniel González Patiño, Miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Cómo aforamos en nuestras reuniones Ordinarias su presencia y su recia personalidad. Cuánta falta nos hacen sus vastos conocimientos, sus enjundiosas opiniones y conceptos. Cómo quisiéramos continuar contando con sus luces en la Comisión Académica, sobre asuntos atinentes a la conservación de la naturaleza colombiana, de la cual era Miembro por derecho propio, y cuyas funciones no solamente las cumplía bajo la impronta de ese inmenso amor y admiración por la naturaleza colombiana, que en él se confundía con la idea y el sentimiento de Patria.

En sus estudios, en sus libros, en sus opúsculos y conferencias quizá más que en ninguna otra parte, vemos realizarse esta admirable simbiosis.

Los mismos valores, sentimientos y actitudes que brillan a la par, en el desempeño de sus tareas

docentes y que hacían de él el Maestro por excelencia. Al punto que entre las multifacéticas actividades intelectuales que cultivó en su fructífera existencia, fue quizá la pedagógica en interrelación profunda con la científica la de sus más caros afectos.

Así se refleja en sus libros de texto, en sus conferencias y en el propio testimonio de quienes tuvieron la fortuna de ser sus discípulos. Cuando ocupaba la cátedra, ya sea en la Universidad o en la Academia Colombiana de Ciencias, fácilmente podía percibirse, junto a la profundidad y claridad de los conceptos, la clara intención didáctica de sus exposiciones. Le preocupaba sobremanera que sus oyentes realmente asimilaran y enriquecieran su experiencia con los conceptos expuestos, pues nada era más ajeno a él que el egoísmo. Nunca fue el repetidor memorista de textos, ni el enciclopedista que se pierde y diluye en el laberinto de datos y descripciones inconexas. Jamás entendió la "Cátedra Magistral" como la oportunidad para lucir su erudición y deslumbrar a sus alumnos, sino la oportunidad en la cual el Maestro se reúne con sus discípulos para orientarlos con sus luces; para motivarlos a que ellos mismos, por su propio esfuerzo, penetren con gran curiosidad y perspicacia en los recintos y recóndidos vericuetos de cada disciplina, integrando siempre la práctica con la teoría, lo concreto con lo teórico y vice-versa.

Siempre estuvo convencido que en la ciencia no existen verdades absolutas y que ésta no es otra cosa que el intento del hombre de captar con su mente las leyes que rigen los procesos de la naturaleza y la consecuente sistematización y categorización de sus resultados, en contextos coherentes,

sujetos a permanentes revisiones y afinamientos. Por lo mismo para él, la tarea esencial del Maestro consistía en que los alumnos logren la comprensión de los conceptos básicos que sustentan las teorías, mientras la del científico creativo es la confrontación crítica permanente de tales conceptos y teorías con la realidad.

Es quizás en la obra "Nociones de Geología y prehistoria de Colombia", fruto de la labor paciente y tesonera del Hno. Daniel, donde mejor pueden apreciarse estos atributos de su personalidad.

En cada capítulo de esta Obra, escrita en 1948, a manera de preámbulo, expone las teorías que estima más significativas, en relación con los temas tratados, discute sus alcances, muestra los puntos débiles de las Teorías, recapitula la contribución individual de cada uno de los científicos que se han ocupado del estudio de tales temas, confronta los asertos con la realidad escueta del entorno, en muchos casos el propio territorio de Colombia objeto de sus pesquisas científicas.

He aquí un ejemplo:

Al hablar de las capas que componen el globo terrestre, dice: "Ante todo, preguntamos: ¿las capas profundas son sólidas o fluidas?"

"En la mayor parte de los libros de Geografía se afirma que en el centro de la tierra arden materiales en fusión debido al calor interior, ¿qué hay de cierto en esto?"

"Antes de cualquier respuesta notemos que hasta el presente no existe ningún dato experimental directo que nos ilustre sobre este tema apasionante; por consiguiente, todas las afirmaciones eran deducciones sacadas de los fenómenos conocidos por la Física, por los datos de la Química o aún por analogías cosmogónicas".

"El hombre no ha podido en este punto contar con ninguna observación experimental que lo ilustre";

En mi opinión: En estas claras y tajantes frases vemos condensada la esencia del método científico: En primer lugar, plantea un problema científico, sustentada por observaciones y hechos incontestables; luego aparece la hipótesis que pretende explicar el problema de la realidad, el análisis de su validez y alcance; en este caso, ante la ausencia, en ese entonces (1948) de nuevos hechos observables por el hombre, inducidos mediante experimentos que a la vez resultan de las predicciones, deducibles de la hipótesis.

El Hno. Daniel, conocedor como el que más de la importancia de esta dialéctica del Método Científico y, sobre todo, del esfuerzo intelectual creativo, que implica la formulación de hipótesis plausibles, cifra en los resultados de tal esfuerzo el mayor mérito de los autores que se hayan ocupado del estudio de un problema científico dado. Por la misma razón, en el contexto de sus Obras, destaca el proceso histórico de solución paulatina del problema así como los aportes individuales de los diferen-

tes autores, ya se trate de nuevas hipótesis o nuevas evidencias que conformen o falseen una hipótesis o una teoría consolidada.

Así, al referirse a la hulla, intitula el párrafo correspondiente con una pregunta, o enunciado de un problema científico:

"¿Cuáles son los orígenes de la Hulla?" y continúa luego: "Desde hace cerca de un siglo los investigadores se han dado a la tarea de responder con la mayor escrupulosidad científica a la pregunta formulada.

De los exámenes microscópicos se desprende que la hulla no se ha formado de grandes elementos (troncos, ramas, etc.) como antes se creía, sino por la agregación de minúsculos residuos vegetales y de fragmentos de tejidos particularmente resistentes a los agentes materiales de destrucción. En la platina se pone de manifiesto lo que se ha dado en llamar cuerpos figurados formados por tejidos lignificados, cuerpos resinosos, cutículas y esporas y sustancia fundamental o pasta aglutinante amorfa que proviene de la alteración de los cuerpos figurados y no presenta residuo alguno de estructura vegetal".

De esta manera he querido ante todo destacar las dos facetas que me han parecido más relevantes de la personalidad del Hno. Daniel: el Científico y el Maestro. Facetas que en él se conjugaban de manera armónica y brillante, para bien de la ciencia, de quienes fueron directamente sus discípulos y, en general, de la juventud estudiosa de Colombia.

No podría concluir este ensayo de semblanza sobre la personalidad del Hno. Daniel, sin antes referirme a otras de sus realizaciones, no menos significativas en pro de la Ciencia en nuestro país, las mismas, cuya trascendencia real, solamente podremos apreciar, si tomamos como marco de referencia la necesidad de superar la situación de marginalidad de la Ciencia en nuestro medio y consolidarla como instrumento esencial para el avance de la sociedad en todos los órdenes y por ende para la preservación de nuestra independencia económica, social, política y cultural.

Como versado naturalista el Hno. Daniel conocía, como el que más, las condiciones de nuestro entorno natural, consideradas, no solamente como las más diversas, sino también entre las más complejas del planeta. Razón suficiente para que la ciencia de nuestro país, vale decir, la ciencia local, a la par que formación de nuevas promociones de científicos, merezca el impulso decidido de la sociedad y del Estado. Solamente así, estaremos en la posibilidad de ampliar el conocimiento, de las leyes o regularidades que rigen los procesos y fenómenos naturales, ya sea en el ámbito global de nuestro territorio o de nuestras veredas y comarcas.

Solamente, así, podremos también ser protagonistas de nuestro propio desarrollo económico, social y cultural; sobre todo si somos también capaces de que nuestro interactuar cultural con la naturaleza no destruya los delicados y susceptibles procesos y mecanismos que sustentan la condición

de equilibrio de nuestros ecòsistemas y la potencia-  
lidad de nuestros recursos; de tal modo, que las  
futuras generaciones puedan también tener la posi-  
bilidad de disfrutarlos.

Así lo comprendió el Hno. Daniel, desde su  
temprana juventud, mucho antes que surgiera la  
cuestión del ambiente como problema universal,  
por lo mismo cultivó la ciencia, impulsó el pen-  
samiento científico en sus cátedras y el Boletín cien-  
tífico de la Universidad de La Salle y se comprometi-  
ó en la tarea de completar la reconstrucción del  
Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de  
La Salle, iniciada por sus antecesores, no menos  
ilustres, el Hno. Apolinar María y el Hno. Nicéforo  
que dieron tanto brillo a esta benemérita Casa de  
estudios, y a las Ciencias Naturales a todo lo largo  
del presente siglo y cuya influencia y significado  
perdurará mientras en Colombia continúe viva la  
llama que encendiera un Francisco José de Caldas,  
un Jorge Tadeo Lozano, un Salvador Rizo, un

Francisco Javier Matis, entre otros ilustres discípu-  
los de Don José Celestino Mutis, Director insigne  
de la Expedición Botánica al Nuevo Reino de Gra-  
nada, catedrático insigne del Colegio Mayor del  
Rosario, en las postrimerías del Siglo XVIII y de la  
época de la Colonia.

Sr. Ministro de Comunicaciones, Sr. Rector,  
Señoras y Señores:

Es justo entonces que la Universidad de La Salle,  
sus Directivas, sus Profesores y alumnos, las ilustres  
personalidades y el público que nos acompaña, rin-  
damos homenaje de admiración y de reconocimiento  
a uno de los más brillantes continuadores de los  
Prohombres de la Expedición Botánica, en los días  
que nos alcanzan, el Hno. Daniel González Patiño,  
maestro de juventudes, atildado científico, Miembro  
de Número de la Academia Colombiana de Ciencias  
Exactas, Físicas y Naturales.

Bogotá, noviembre 3 de 1988.

# Informe del presidente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, doctor Luis Eduardo Mora-Osejo, sobre el desarrollo de la II Conferencia General de la Academia del Tercer Mundo, reunida en Pekín del 14 al 18 de septiembre de este año, y de su participación en dicho certamen

He aquí el informe sobre mi participación en la Segunda Conferencia de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo (TWAS) sobre la cooperación Sur-Sur, Norte-Sur para el avance de las Ciencias que tuvo lugar en la ciudad de Pekín (República Popular de China), entre el 14 y el 18 de septiembre pasado, en representación de la Academia Colombiana de Ciencias y de Colciencias, previa invitación formulada por el Profesor Abdus Salam, Presidente de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo con sede en Trieste, Italia.

La Academia Colombiana de Ciencias estuvo representada en la Conferencia por su Presidente y por los Académicos, Antropóloga Alicia Dussán de Reichel, Miembro Correspondiente y el Profesor Dr. Gerardo Reichel-Dolmatoff, Miembro de Número de la Corporación.

En la Conferencia participaron 118 científicos distribuidos por regiones así:

Latinoamérica 25, países árabes 10, países asiáticos 39, países africanos 21, científicos expatriados del Tercer Mundo 6, República Popular de China 17, total 118.

Además, participaron un número aproximado de 50 observadores procedentes, en su mayoría, de la República Popular de China.

La organización de la Conferencia estuvo a cargo de la Academia Sinica y contó con un Comité organizador, o Comité Local, personal auxiliar y un grupo de recepcionistas encargadas de recibir y atender las consultas de los científicos participantes. En total, participaron en la organización del

Congreso 182 personas vinculadas a la Academia Sinica, incluyendo personal directivo, administrativo y auxiliar.

La organización de la Conferencia contó además con el apoyo y asesoría de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, con sede en Trieste.

La Academia Sinica, cursó 120 invitaciones que cubrían los gastos de permanencia en Pekín durante una semana. Los gastos de transporte a Pekín, desde los distintos países representados, estuvieron a cargo, total o parcialmente, de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo.

Asimismo, la Academia de Ciencias del Tercer Mundo tendrá a su cargo la publicación de las Memorias de la Conferencia.

Como estaba previsto en el Programa General, la inauguración de la II Conferencia tuvo lugar en el "Gran Hall del Pueblo" de la ciudad de Pekín, y las demás reuniones en la sala de conferencias del Hotel Fragrant Hills, situado a 30 km., aproximadamente, del centro de la ciudad.

La inscripción de los participantes se cumplió el 13 de septiembre, o sea el día anterior al de la iniciación de la Conferencia.

En la sesión inaugural llevaron la palabra los Profesores Kiaxi Iu, Presidente del Comité de Organización y el Profesor Qiheng Hu, Secretario del Comité Organizador y de la Academia Sinica.

Luego de presentar un cordial saludo de bienvenida y ofrecer hospitalidad a los participantes en la II Conferencia General de la TWAS, reunida en Pekín, se refirió al futuro de la ciencia en China y, en general, en el Tercer Mundo, haciendo énfasis

sobre la necesidad de la cooperación de los países en desarrollo tanto en lo que toca a la Ciencia como a la Tecnología.

Las sesiones de trabajo de la Conferencia se iniciaron con la intervención del Presidente de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, Profesor Abdus Salam y actuó como Moderador el Presidente de la Academia Sinica, Profesor, Guangzhao Zhou.

La Conferencia del Profesor Salam llevó por título: "The Regeneration of Sciences in the Third World". En ella sustentó la tesis según la cual la gran diferencia, en el nivel de vida, que separa a los países del Sur de los países del Norte, no es más que el reflejo de la gran brecha en el nivel de desarrollo de la Ciencia y de la Tecnología en uno y otro de los dos hemisferios. En términos cuantitativos, según Salam, esta situación podría expresarse por medio de los porcentajes promedios del Producto Interno Bruto que gastan, respectivamente, los países del Norte y los países del Sur en el desarrollo de la ciencia. Así, mientras que en el Norte, tal porcentaje promedio es del 2.5%, en los países del Sur equivale apenas al 0.2%. La situación de Colombia es aún peor, en cuanto se separa sensiblemente de este promedio, ya que los gastos en la promoción y desarrollo de la Ciencia, representan apenas el 0.12%.

Como causas primarias de esta situación Salam señala, entre otras, las siguientes: a) la falta de empeño y estima por la Ciencia en las sociedades de los países del Tercer Mundo; b) los escasos recursos para la investigación científica, y c) la falta de confianza de las sociedades respectivas, en la eficiencia de la Tecnología local.

Luego, hizo énfasis en la necesidad de mejorar tal situación, dando prioridad al desarrollo de la Ciencia Básica, para lo cual el presupuesto que se asigne en cada país, debería ser al menos igual al 4% del presupuesto de los respectivos Ministerios de Educación. Estos fondos se emplearían en la investigación básica, propiamente dicha, en el entrenamiento de nuevas promociones de investigadores y en subvencionar la participación de los investigadores locales en actividades científicas internacionales.

Un esfuerzo similar debería hacerse, asimismo, en favor del fomento de la aplicación de la Ciencia ya consolidada a la producción económica y en el desarrollo de la Tecnología local, entendida esta última como la búsqueda de conocimientos útiles, mediante la metodología científica, teniendo en cuenta que "la Ciencia de hoy, es la Tecnología del mañana", de acuerdo con las enseñanzas del legendario pensador Confucio.

Finalmente, para hacer ver que, en efecto, se trataría de una "regeneración" de la Ciencia en el Tercer Mundo, hizo una breve historia del desarrollo de la Ciencia en el Tercer Mundo, mostrando cómo el surgimiento de la honda brecha que ahora separa al Sur del Norte del planeta, en el desarrollo científico y tecnológico, es de reciente data. Así

China, durante la época precristiana y hasta el año 1600, fue el país líder en Tecnología; como quiera que ya disponía de varias tecnologías para fabricación de porcelana, papel, impresión de textos y manufactura de sedas, así como gran variedad de diseños de fuelles y bombas. Ya para entonces había inventado el reloj mecánico y otros dispositivos no menos sorprendentes. En esta forma, China se anticipó un milenio al Occidente en el desarrollo de muchas tecnologías, por ejemplo, la invención de la pólvora, aunque no con fines militares, sino en busca de mejorar las condiciones de vida, de acuerdo con las enseñanzas de Confucio. Otro tanto puede decirse de las Ciencias Básicas, tal el caso del florecimiento del Algebra, de la Teoría de los Números que desde sus comienzos ya incluía el concepto de los números negativos; el reconocimiento de la naturaleza de los fósiles como restos o impresiones dejadas por organismos que vivieron en el pasado; así como observaciones y registros de los movimientos de los planetas y demás cuerpos celestes; la predicción de terremotos, el control biológico de plagas y el descubrimiento del magnetismo.

En la reunión siguiente el Profesor M.H.A. Hassan, Secretario de la TWAS, dio una amplia información sobre las actividades desarrolladas por la TWAS en los dos últimos años, es decir, después de la Conferencia de Trieste, en julio de 1985, y en referencia a la colaboración prestada a los países del Tercer Mundo por parte de TWAS. Puso especial énfasis en señalar los subsidios otorgados por la TWAS para el desarrollo de Proyectos de investigación en los países del Tercer Mundo, como una de las formas más efectivas de cooperación. En total, se aprobaron 164 subsidios, distribuidos así: Africa 21, países árabes 9, Asia 84, América Latina 50, Colombia recibió ayuda para el desarrollo de un Proyecto de investigación sobre "Propiedades ópticas y de transporte de nuevos sistemas semiconductores", a cargo de los investigadores, Profesores Quiroga y Camacho de la Universidad de los Andes, de Bogotá.

La TWAS contribuyó también con los gastos de transporte de 202 Pasantías ofrecidas por distintos países del Tercer Mundo. De ellas 50 fueron ofrecidas por el Brasil y 20 por México.

La TWAS financió la realización de Congresos, Conferencias, Simposios, Reuniones, Seminarios y Cursos en los países del Tercer Mundo, por la suma de US\$235.862; el 39.96% de esta cifra correspondió a Suramérica, particularmente, Chile, Cuba, México y Argentina. En Colombia financió un Curso Internacional, de dos semanas de duración, sobre "Diseño, con ayuda de computadores, en Ciencia e Ingeniería", efectuado en julio de este año.

En 1987 la TWAS concederá 85 premios en Ciencia para científicos jóvenes de los países del Tercer Mundo, entre ellos uno para Colombia, en el área de las Ciencias Biológicas.

**Las reuniones de trabajo de la Conferencia**, celebrada durante los días 14 y 15 de septiembre, estuvieron dedicadas a la presentación de Conferencias Magistrales sobre la situación de la Ciencia en la República Popular de China, por parte de destacados científicos de diferentes áreas del conocimiento, miembros de la Academia Sinica.

De estas Conferencias, en mi opinión, se destacan, entre otras, la Conferencia del Profesor Jiazhen Tan, Director del Instituto de Genética de la Universidad de Fudan, sobre "La formación de personal científico en China"; la del Profesor Quingchum Zeng, sobre "Aspectos de las Ciencias atmosféricas en China"; la disertación del Profesor Gengtao Liu, Director del Instituto de Ciencias Médicas de China, sobre "Los avances en el desarrollo de nuevas drogas, a partir de la medicina tradicional y popular china"; la del Profesor Yungang Shen sobre "La eficiencia fotosintética y la agricultura".

De todas estas intervenciones, así como de todas las demás efectuadas durante la II Conferencia de la TWAS, se dispone de los textos mimeografiados, los cuales se depositaron en la biblioteca de la Academia Colombiana de Ciencias.

Las exposiciones hechas en las reuniones plenarios por los científicos chinos, se complementaron con visitas a Institutos de la Academia Sinica situados en Pekín; tales como: Instituto de Física de alta Energía, Instituto de Semiconductores, Centro de Cómputo, Instituto de Sensores Remotos, Instituto de Automatización, Instituto de Biofísica, Instituto de Química Ambiental, Instituto de Oncología y Microscopía Electrónica, Instituto de Biología del Desarrollo, Jardín Botánico de Pekín, Instituto de Genética, Biblioteca de la Universidad de Pekín, Instituto para el desarrollo de nuevas drogas, a partir de las plantas.

En la tarde del 15 tuvieron lugar disertaciones de científicos procedentes de los países de Africa, Asia, países árabes y América Latina y el Caribe.

Entre las Conferencias ofrecidas por científicos de la América Latina menciono, entre otras, la del científico peruano A. Giesecke, Director del Centro de Sismología para América del Sur, CERESIS, con sede en Lima, quien habló sobre las actividades de este Centro y el desarrollo de la Sismología en Suramérica.

El CERESIS, es un Centro Regional de Sismología para América del Sur, creado por la UNESCO en 1966, funciona a partir de 1971 como organismo internacional de la región sudamericana y es sostenido por los países de la región. Posteriormente, adhirió España. El CERESIS es un ejemplo de un exitoso programa de cooperación entre países suramericanos, con creciente incidencia en el desarrollo.

El Profesor Emilio Rosenblueth, de la delegación de México, habló sobre la urgencia de declarar la próxima década 1990-2000, como la "Década Internacional para la reducción de los riesgos naturales". Los trabajos estarían coordinados por la

Organización de las Naciones Unidas bajo la responsabilidad directa del Secretariado General de dicha organización. El Profesor Rosenblueth, abogó porque la Academia de Ciencias del Tercer Mundo y, en particular, la II Conferencia reunida en Pekín, apoye la iniciativa, como en efecto se hizo en la reunión final.

El Conferencista sustentó su iniciativa, entre otros, en los hechos que a continuación detallo por considerarlos de interés para nuestro propio país: las catástrofes naturales en los últimos 20 años han producido la muerte de 2.8 millones de seres humanos, las tragedias han afectado a 800 millones de personas y los daños materiales han excedido la suma de 23.000 millones de dólares. Los desastres incluyen terremotos, inundaciones, huracanes, avalanchas, erupciones volcánicas, entre otras. Finalmente hizo énfasis en la vulnerabilidad de los países en desarrollo a las calamidades naturales, y señaló como causas las siguientes: rápido crecimiento demográfico, desplazamiento continuo de las poblaciones, de un sitio a otro, ocupación de zonas inadecuadas para la vivienda, construcciones frágiles, carencia de Organizaciones estatales o privadas que respondan a las emergencias, escasas comunicaciones, sistemas de transporte inadecuados, falta de equipos de rescate y, en fin, actitudes fatalísticas de la población.

El delegado del Uruguay, Ingeniero Manuel Berger, habló sobre el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología en la República Oriental del Uruguay.

El delegado de México, Dr. A. Martínez-Palomo, presentó una interesante conferencia, bajo el título, "La ciencia del Tercer Mundo, vista por dentro".

El Profesor Sergio Mascarenhas, presidente de la Academia de Ciencias del Brasil, habló sobre la ciencia y el desarrollo moderno en el Brasil.

El Profesor Oswaldo A. Reig, de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, envió una interesante contribución que contiene un recuento histórico del desarrollo de la Ciencia en su país.

El National Research Council de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos, contribuyó con un trabajo en el cual se destacan las facilidades que ofrece dicho organismo a los científicos de los países del Tercer Mundo. En él se destacan las becas o "Grants" para el desarrollo de Proyectos de Investigación Científica. Informó que para tal efecto las áreas prioritarias escogidas por el National Research Council, son las siguientes: a) recursos vegetales subutilizados, particularmente "Producción de semillas del amaranto", b) fijación biológica del nitrógeno, c) cultivo de árboles tropicales, utilizables en diversas formas, d) censos epidemiológicos, e) diagnosis y epidemiología de enfermedades respiratorias infecciosas de los niños, y f) estudios de campo sobre insectos vectores.

El día 16 estuvo dedicado a discutir los mecanismos de cooperación para el desarrollo de la cien-

cia global y de la ciencia del Hemisferio Sur. Esta reunión estuvo presidida por la Dra. Julia Marton-Lefevre, Secretaria Ejecutiva del Consejo Internacional de las Uniones Científicas, con sede en París, y al cual está asociada la Academia Colombiana de Ciencias. La reunión se complementó mediante la celebración de un foro sobre la constitución de una Federación de las Academias y Consejos de Investigación del Tercer Mundo, presidido por el Sr. Ministro de Educación de Nigeria, Profesor J. M. Aminu y por el Profesor M. O. Ghandi, Presidente de la Academia de Ciencias de Bangladésh, Pakistán. Finalmente, se recomendó aprobar esta iniciativa, previa la introducción de las modificaciones efectuadas por el foro.

En el día 17 se complementó el Ciclo de Conferencias sobre los avances científicos de la República Popular China, en particular en los campos de la Biotecnología, de la Agricultura, de la Acuicultura marina, de la Silvicultura y las Ciencias de la Tierra.

En este día también se inició la discusión de la situación de la Ciencia en los países del Tercer Mundo.

En la reunión plenaria el Dr. Raimundo Villegas, Canciller de la Academia de Ciencias de la América Latina, presentó un Informe sucinto sobre la situación de la Ciencia en América Latina.

Previamente, a la reunión plenaria, se efectuaron reuniones por regiones, con el objeto de actualizar la información correspondiente a cada país, de discutir los problemas urgentes por solucionar y de definir los programas por adelantar en cada región, contando para ello con la ayuda de la TWAS. En esta reunión, el suscrito hizo la presentación de su trabajo sobre el tema: "La situación Institucional y financiera de la investigación científica en Colombia", cuyo texto, acompañado del correspondiente resumen en inglés, se entregó para su publicación en las Memorias de la Conferencia.

En el día 18 de septiembre, último de la Conferencia, se presentaron los Informes sobre las reuniones de carácter regional celebradas el día anterior. En seguida, en la sesión de clausura se continuó con la discusión de estos Informes y se aprobaron las conclusiones finales de la Conferencia.

Entre las conclusiones y recomendaciones de la reunión regional Latinomaericana, se incluyó la siguiente moción:

"El Grupo Latinoamericano y del Caribe aprueba la proposición en el sentido de que Colombia sea la sede de la Tercera Conferencia General de la TWAS y comisiona al Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias para iniciar gestiones ante el Gobierno de Colombia con este mismo propósito". Esta recomendación fue luego aprobada por unanimidad en la región general de clausura.

La proposición del Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias se apoyó en las conversaciones sostenidas con el Sr. Asesor Cultural de la Presidencia de la República, Dr. Jorge Eliécer Ruiz

y con el Director de COLCIENCIAS Dr. Pedro Amaya, previo a su viaje a la ciudad de Pekín.

Tanto el Dr. Ruiz, como el Dr. Amaya lo pusieron al tanto del interés del Sr. Presidente de la República, Dr. Virgilio Barco, en el sentido de que la III Conferencia de la TWAS se realizara en Colombia, tal como se lo había expresado personalmente al Profesor Abdus Salam, con motivo de su visita a Bogotá en febrero de este año.

El Dr. Amaya y el Dr. Ruiz, pidieron además al Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias, se informara en Pekín, como en efecto se hizo, sobre la organización y costos del evento y asumiera para tal efecto no solamente la representación de la Academia Colombiana de Ciencias, sino también de COLCIENCIAS.

Para dar cumplimiento a la solicitud anterior el suscrito se reunió en Pekín con el Presidente de la Academia de Ciencias Sinica, Profesor Guangzhao Zhou y con el Presidente del Comité cooperativo. En esta reunión se obtuvieron los datos sobre la organización y costos de la II Conferencia de la TWAS celebrada en Pekín, los cuales ya han sido entregados al Dr. Jorge Eliécer Ruiz, quien a la vez prepara un Memorando para el Sr. Presidente de la República, Dr. Virgilio Barco.

## RESUMEN

1. En resumen, se obtuvo un gran cúmulo de información sobre el estado de la Ciencia y la Tecnología en los países del Tercer Mundo y sobre las políticas y acciones concretas que se están impulsando para mejorar estas dos actividades, de cuya implementación depende, en buena parte, que el desarrollo económico y social sean equilibrados y que estén íntimamente interrelacionados con las condiciones sociales y naturales de cada país.
2. Se obtuvo, asimismo, mayor información sobre los mecanismos institucionales ya existentes para promover la cooperación individual e institucional, entre los países del Tercer Mundo para el desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, en particular a través de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo.
3. Al presente informe se anexa una copia de las conclusiones aprobadas por la II Conferencia General de la TWAS.
4. En la reunión regional del grupo de la América Latina y el Caribe, después de amplia discusión, se decidió nombrar una comisión redactora del Proyecto de conclusiones, de la cual formó parte el Presidente de la Academia Colombiana de Ciencias. Finalmente, en lo que concierne a la América Latina y el Caribe, se aprobaron las siguientes conclusiones:
  - a. That the inventory carried but by ACAL be strengthened through support from TWAS as needed and in accordance with budgetary possibilities;

- b. that TWAS offer support for ACAL to carry out, by various means, a feasibility study for an eventual Federation and/or mutual affiliation of scientific organizations of the region such as Academies, Research Councils and Associations for the Advancement of Science;
- c. that TWAS help ACAL by all possible means to identify priority areas for the region;
- d. that TWAS propitiate appropriate meeting with intergovernmental organizations such as UNESCO, UNDP, FAO and DAS, which administer funds for S&T cooperation, to evaluate the conceptual basis and the actual means by which these funds are allocated;
- e. that TWAS endorse the implementation of the International Decade for Natural Hazard Reduction;
- f. that TWAS offer financial support, within budgetary possibilities, to the Library of the Venezuelan Institute for Scientific Research (IVIC), so that it may provide a low-cost photocopying service of scientific papers for the region;
- g. that TWAS support within the establishment of a computer network for communication within Latin America and the Caribbean;
- h. that TWAS consider the possibilities of using fellowships for the South-South of North-North training of qualified technicians;
- i. that TWAS support the proposal to hold a meeting in Guatemala to evaluate the possibilities of establishing an International Earth Science Institute;
- j. and, in general, to assist, by any possible means, reasonable proposals made in the region towards fostering the development of S&T and its application.

The Latin American and Caribbean Group unanimously approve the proposal of Colombia

to be the site of the Third General Conference of TWAS, and commission the President of the Colombian Academy of Sciences to initiate arrangements with the Colombian Government for this purpose.

- 5. Finalmente, se debe destacar la escogencia de Colombia como la sede para la celebración de la III Conferencia General de la TWAS en 1989, contando en tal decisión con el apoyo unánime de todos los participantes y el ofrecimiento, de parte de los delegados de los países Latinoamericanos, de prestar apoyo en lo que fuere necesario, para el éxito de este certamen, cuya realización exitosa no solamente representa un compromiso para Colombia, sino para toda la Comunidad Científica latinoamericana, como fue explícitamente reconocido por las delegaciones de la América Latina y del Caribe.

#### AGRADECIMIENTOS

Sea la oportunidad de agradecer a la Academia de Ciencias del Tercer Mundo y en particular a su presidente, Profesor Abdus Salam, por su gentil invitación a participar en la II Conferencia General de la Academia y por la ayuda económica otorgada para financiar la mayor parte de los costos de mi viaje a Pekín. Asimismo, a la Academia Sinica por su gentil invitación y por la ayuda para el financiamiento parcial de mi permanencia en la República Popular de China.

Presento, asimismo, mis reconocidos agradecimientos a la Academia Colombiana de Ciencias y a Colciencias por la ayuda otorgada para complementar los gastos de viaje y permanencia en Pekín, sin la cual no me hubiera sido posible participar en tan importante certamen. Lo propio a la Universidad Nacional por concederme la correspondiente autorización para interrumpir mis actividades del Año Sabático y viajar a la ciudad de Pekín.

Bogotá, octubre 14 de 1987

# TWAS SECOND GENERAL CONFERENCE

## “FUTURE OF SCIENCE IN CHINA AND IN THE THIRD WORLD”

### Regional Meeting of Latin American and Caribbean Countries

Present at the Meeting were:

1. Berger, M. – Uruguay
2. Croxatto, H. – Chile
3. Garraghan, F. – Argentina
4. Giesecke, A. A. – Perú
5. Hartmann, L. F. – Bolivia
6. Marinello Vidaurreta, Z. – Cuba
7. Martínez Palomo, A. – México
8. Mascarenhas, S. – Brazil
9. *Mora-Osejo, L. E. – Colombia*
10. Pavan, C. – Brazil
12. Peixoto, M. M. – Brazil
12. *Reichel-Dolmatoff, A. – Colombia*
13. *Reichel-Dolmatoff, G. – Colombia*
14. Rendón, F. – México
15. Rivas-Mijares, G. – Venezuela
16. Rivero Alvisa, D. – Cuba
17. Roche, M. – Venezuela
18. Rosenblueth, E. – México
19. Saavedra, I. – Chile
20. Sáenz, T. W. – Cuba
21. Springmühl, C. – Guatemala
22. Taylor, G. V. – Jamaica
23. Tola Pasquel, J. – Perú
24. Viau, A. – Guatemala
25. Villegas, R. – Venezuela

#### THE LATIN AMERICAN AND CARRIBBEAN GROUP RECOMMENDS:

1. that the inventory carried out by ACAL be strengthened through support from TWAS as needed and in accordance with budgetary possibilities;
2. that TWAS offer support for ACAL to carry out, by various means, a feasibility study for an eventual Federation and/or mutual affiliation of scientific organizations of the region such as Academies, Research Councils and Associations for the Advancement of Science;

3. that TWAS help ACAL by all possible means to identify priority areas for the region;
4. that TWAS propitiate appropriate meetings with inter-governmental organizations such as UNESCO, UNDP, FAO and OAS, which administer funds for S&T cooperation, to evaluate the conceptual basis and the actual means by which these funds are allocated;
5. that TWAS endorse the implementation of the International Decade for Natural Hazard Reduction;
6. that TWAS offer financial support, within budgetary possibilities, to the Library of the Venezuelan Institute for Scientific Research (IVIC), so that it may provide a low-cost photocopying service of scientific papers for the region;
7. that TWAS support the establishment of a computer network for communication within Latin America and the Caribbean;
8. that TWAS consider the possibilities of using fellowships for the South-South of North-South training of qualified technicians;
9. that TWAS support the proposal to hold a meeting in Guatemala to evaluate the possibilities of establishing an International Earth Science Institute.
10. and, in general, to assist, by any possible means, reasonable proposals made in the region towards fostering the development of S&T and its application.

The Latin American and Caribbean Group unanimously approve the proposal of Colombia to be the site of the Third General Conference of TWAS, and commission the President of the Colombian Academy of Sciences to initiate arrangements with the Colombian Government for this purpose.

### Regional Meeting of African Countries

Present at the Meeting were:

1. Adegbola, A. A. – Nigeria
2. Andriambololona, R. – Madagascar

3. Babale, A. – Cameroon
4. Bouramoué, C. – Congo
5. Butler, R. G. J. – Guinea (Rapporteur)
6. Dinga-Reassi, J. – Congo (Rapporteur)
7. Doulou, V. – Congo
8. Dzinotyiweyi, H. A. M. – Zimbabwe (Rapporteur)
9. Ekong, E. D. U. – Nigeria
10. Ekouya, A. – Congo
11. Emovon, E. U. – Nigeria
12. Evans-Anfom, E. – Ghana
13. Ezeilo, J. O. C. – Nigeria
14. Gombe, S. – Kenya (Chairman)
15. Keffelew, M. – Ethiopia
16. Mboup, M. – Senegal
17. Mefane, C. – Gabon
18. Msangi, A. S. – Tanzania (Rapporteur)
19. Nya-Ngatchou, J. – Cameroon
20. Okigbo, B. N. – Nigeria
21. Toure, S. – Ivory Coast

The Meeting started with a presentation by Prof. S. Gombe, Scientific Secretary of the African Academy of Sciences (AAS) on "The Impact of International Research Centres on National Development in Africa". He gave a brief account of the activities of International Research Centres such as IITA, ILCA, ILRAD and ICIPE, and their relevance to agricultural development in Africa.

This was followed by country presentations on the state of Science and Technology in the following African countries:

1. "The Organization and Performance of Science and Technology in the Congo", by Prof., C. Bouramoué, Minister of Scientific Research and Environment presented by Dr. Doulou, Director of Science and Technology, Congo;
2. "Organization of Scientific Research in Tanzania", by Prof. A. A. Msangi, Director General of the Tanzania National Scientific Research Council;
3. "The Role and Functions of the Ghana Academy of Arts and Sciences", by Dr. Evans-Anfom, President, Ghana Academy of Arts and Sciences;
4. "Situation of Science and Technology Organization in Madagascar", by Dr. R. Andriambololona, L.P.N.P.A., Madagascar;
5. "Some Aspects of Scientific Research in the Ivory Coast", by Prof. S. Toure, Director, Mathematical Research Institute of Cothe d'Ivoire;
6. "Scientific and Technological Scene on Natural Development of Ghana", by Dr. R.G.J. Butler, Director General, Council for Scientific and Industrial Research, Ghana;
7. "Agricultural Research in Nigeria and Advantages of Collaboration with China", by Dr. B.N. Okigbo, Deputy Director, IITA, Ibadan, Nigeria;
8. "The Role and Functions of the Science Council of Zimbabwe", by Prof. H.A.M. Dzinotyiweyi, Chairman, Science Council, Zombabwe.

These presentations were followed by a general discussion of the situation of Science and Technology in Africa.

The African delegates noted that:

1. there was urgent need for African Governments to give more financial support to the development and the application of science and technology in order that scientists may have the facilities to solve the problems discussed. The meeting supported the CASTAFRICA

II resolution that all African countries should devote at least one percent (1%) of their GNP to Science and Technology by the year 2000 in their respective countries;

2. African countries should strengthen cooperation in Science and Technology among themselves and with other members of the Third World;
3. in view of the remarkable development of Science and Technology in China in such relevant areas as agriculture, medicine, industry, etc., special efforts should be made to develop appropriate cooperative programmes between African Countries and China in special areas such as:
  - intensive crop production;
  - biotechnology and genetic engineering;
  - germ plasm banks;
  - food preservation and processing;
  - afforestation and environmental management.

### 1993 Conference of TWAS

It was agreed among the members of the African Group that AFRICA should host the 1993 Biennial Meeting of the Third World Academy of Sciences and that the venue should be:

- (i) Nigeria, or
- (ii) Kenya, or
- (iii) Tanzania,

in this order.

Members expressed their appreciation for the opportunity given to them to meet and discuss their problems by the Second General Conference of the Third World Academy of Sciences in Beijing, China.

## Regional Meeting of Asian Countries

Present at the Meeting Were:

1. Akhtar, M. – Pakistan/UK
2. Amrollahi, R. – Iran
3. Ang, R. P. – Singapore
4. Chang, Jung Jong – D. P. R. Korea
5. Chen, Naixing – P. R. China
6. Cho, Dong Chun – D. P. R. Korea
7. Ding, Guo-yu – P. R. China
8. Dong, Sheng Liu – P. R. China
9. Feng, Depel – P. R. China
10. Golshani, M. – Iran
11. Huang, Kun – P. R. China
12. Hug, M.M. – Bangladesh
13. Jayewardene, R. P. – Sri Lanka
14. Kim, Gyong Bong – D. P. R. Korea
15. Kim, Won Jin – D. P. R. Korea
16. Kulasinghe, A. N. S. – Sri Lanka
17. Li, Wenlin – P. R. China
18. Li, Zhijie – P. R. China
19. Ma, Shyn – P. R. China
20. Menon, M. G. I. – India
21. Rahman, A. U. – Pakistan
22. Rana, R. S. S. B. – Nepal
23. Rao, C. R. – India/USA
24. Sadrnezhad, K. – Iran
25. Salimi-Namin, M. H. – Iran
26. Sharma, A. K. – India
27. Shen, Shi-min – P. R. China

28. Shen, Y. K. — P. R. China
29. Shi, Ying-Xien — P. R. China
30. Siddiqi, O. — India
31. Sudarshan, E. C. G. — India/USA
32. Tan, C. C. — P. R. China
33. Tseng, Chenkui — P. R. China
34. Tu, Guangzhi — P. R. China
35. Wang, Bin — P. R. China
36. Wang, Daheng — P. R. China
37. Xi, Zezong — P. R. China
38. Xu, Fuahren — P. R. China
39. Zhu, Daoken — P. R. China

1. About 40 scientists, from 9 different countries of Asia, Participated in the Group meeting on regional presentations and the modality of South-South Cooperation. Seven presentations were made.

The representatives from the Institute for Fundamental Studies of Sri Lanka, H.E.J. Research Institute of Chemistry from the University of Karachi and the Institute of Mathematical Sciences in Madras spoke about the objectives, areas of study and management patterns of these respective institutes.

The other participants from Bangladesh, Iran and Morocco presented reports on the state of science in their respective countries. The group was also informed about the Centre for Science and Technology for Non-Aligned Countries being set up in India. It will serve as an information centre for the entire technological capability available in the developing world.

2. The group expressed their deep appreciation of the development of Science and Technology in China in different fields - both basic and applied. In China, Science Education and Research are in conformity with the national requirements. Moreover, there is a strong commitment of the Chinese scientists - whether working abroad or in the country - to work for the development of the nation.
3. It is suggested that in other countries as well, Science Education and Research should be adapted to their national requirements, where it is lacking. In order to achieve this objective, a strong base of researches on basic sciences is essential. TWAS may assist in promoting basic research in these countries.

- 4.1. For South-South Cooperation, some of the areas of study suggested were:

- (a) natural products - chemistry, pharmacology, molecular biology;
- (b) vector biology
- (c) biomass as a source of energy
- (d) biophysics
- (e) physics of condensed matter
- (f) material science
- (g) biotechnology in relation to agriculture and animal husbandry
- (h) marine sciences
- (i) climate modelling
- (j) resource survey - land and biological resources
- (j) resource survey - land and biological resources
- (k) natural and man made climatic changes on man and environment in addition to others.

Some institutions were identified for the effort and it was suggested that the respective academies be approached for further suggestions.

## Regional Meeting of Arab Countries

Present at the Meeting were:

1. Al-Attar, M. — Kuwait
2. Al-Shamlan, A. A. — Kuwait
3. Alikhan, A. A. — Kuwait
4. Anani, J. — Jordan
5. Ashour, A. A. — Egypt
6. Badr-El-Din, A. C. — Jordan
7. Bensari, D. — Morocco
8. Haddad, I. — Syria
9. Khalaf, A. N. — Iraq
10. Khidir, M. O. — F.A.S.R.C. (Chairman)

The Arab region participants in the Second General Conference of TWAS met and discussed the status of science in the Arab world, and cooperation among the Arab countries and between them and other Third World Countries.

The Group reached a consensus on the following points:

1. In spite of the present situation in the Arab region, some noticeable advances in science and technology are made. However, they are still short of meeting the expectations, because of a number of obstacles such as brain drain, limitation of funds, shortage of high quality technical manpower in some fields, limited industrialization to generate demand for scientific research.
2. Arab Governments are convinced of the need to increase expenditure on science and technology in spite of the present economic situation in the region.
3. Arab Governments realize the importance of education and scientific research, and the Arab Group feels the need for a correlation between expenditure on education and scientific research.
4. The main source of financing scientific activities in the Arab region is the Government. However, the Group strongly feels that the private sector should play a role in funding scientific activities. An example of such role is played by the Kuwait Foundation for the Advancement of Sciences (KFAS), whose financial resources come from 5% of the annual profit of over 300 private companies in Kuwait.
5. The present disparity in the degree of development of science among the Arab countries call for further coordination and cooperation among the scientific communities in the Arab world.
6. There is need for strengthening and better utilization of existing cooperation channels in the Arab world, such as intergovernmental and non-governmental organizations to play a more effective role. In this regard, the Federation of Arab Scientific Research Councils (FASRC) represents a unique experience in strengthening relations among research centres and Arab scientists. It is an intergovernmental organization entrusted with fostering coordination and cooperation among research establishments in the Arab world.
7. There is need to counteract the brain drain problem and to keep the scientists and researchers through development of industry to create "demand-pull" for research results, improving the scientific atmosphere including the socio-economic aspects, and encouraging the prominent scientists. A positive step in this direction is being taken by some Arab governments and by some private Arab establishments.

8. Due to the limited resources, there is need to direct Arab scientific activities to priority areas such as food security, desertification, water and energy.
9. There is need to encourage Arab students to study science, and to intensify the efforts of popularization of science among the public.
10. There is need for studying the scientific and technological potential (STP) in the Arab countries.
11. There is need to increase the present cooperation between the Arab countries and other Third World countries, through bilateral agreements, or through existing Arab intergovernmental and non-governmental organizations. Such cooperation requires peace and an atmosphere of understanding.
12. The Arab participants appreciate the Kuwaiti initiative to host the Fourth General Conference of the Third World Academy of Sciences due to be held in 1991. The Conference will be a valuable opportunity to further strengthen scientific cooperation between the Arab countries and other countries of the Third World. The Arab Group will spare no effort in cooperating with the State of Kuwait to ensure the success of the Conference.

## Working Group "Expatriate Scientists"

Present at the Meeting were:

1. Akhtar, M. — Pakistan/United Kingdom
2. Huq, M. M. — Bangladesh
3. Ponnampereuma, C. — Sri Lanka/USA
4. Rao, C. R. — India/USA
5. Shibli, I. A. — Pakistan/United Kingdom
6. Sudarshan, E. C. G. — India/USA

In the course of this meeting it was decided that the STD Forum will make a datafile of the expatriate scientists in the United Kingdom with some input from other countries of the North and try to match this against the requirements of the institutions on the South. The institutions in need will be identified by an organization like TWAS, with links in the South.

The following specific actions were decided upon:

1. An expert working on a short-time assignment in the Third World might be more useful in areas of applied science, such as computer applications, materials science, etc. All such areas should be identified and given priority.
2. In pure sciences, involvement of high level academics from the North should be considered for jobs such as staff development in the South. This should be an intermittent long-term involvement (i.e. a few weeks per year over a number of years) to make it productive and useful. Exception to this rule should be visits of scientists of exceptional fame for a single short duration, as this could boost the morale of the host scientific community.
3. Some of the Embassies/High Commissions in the North keep names and addresses of their nationals working there. These, together with organizations of expatriate scientists in the North should also be approached for names of their nationals.
4. STD Forum should approach national talent policy pools and personal contacts in Third World countries to enquire about the usefulness of other similar schemes which be operating in these countries.
5. When the scheme comes into operation, a proposal and detailed system of evaluation of a candidate's qualifications and suitability for a specific job would be required to make it successful both for the expatriate scientist and the receiving institutions.

## INFORME DE ACTIVIDADES (1987-1988)

Establece el Artículo No. 42 de los Estatutos de esta Academia, que, durante la sesión solemne anual que celebra la corporación en la semana del 20 de agosto de cada año, aniversario de la fundación del Observatorio Astronómico de Bogotá, el Secretario debe leer un informe acerca de las tareas científicas y culturales desarrolladas por la Corporación durante el año académico precedente. Cumpló este deber destacando los siguientes aspectos:

### SESIONES

A partir del 20 de agosto de 1987 y hasta la fecha, la Academia celebró treinta y dos reuniones discriminadas así:

- Once reuniones de la Junta Directiva,
- Diez sesiones ordinarias,
- Once sesiones públicas.

Como es tradicional en la Corporación, las reuniones ordinarias se celebraron el tercer miércoles de cada mes en la sede de la Academia, caracterizándose por una notable concurrencia; el promedio de asistentes fue de 19. Este quórum ha permitido continuar una vieja tradición de reuniones de alta calidad intelectual con una amplia y activa participación del cuerpo de la Academia. Durante estas sesiones se ha llevado a cabo un interesantísimo ciclo de conferencias, internamente conocidas como "charlas académicas", en las que se presentan avances de las investigaciones realizadas por los distintos académicos o temas de interés científico, y que en el presente año fueron los siguientes:

**La Dictadura de la Quinta**, a cargo del académico correspondiente *Carlo Federici Cassa*.

**Biología Molecular, revolución o dogma**, a cargo del académico correspondiente *Moises Wasserman Lerner*.

**Arrhenius, el hombre que rompió el átomo**, a cargo de los académicos de número *Inés Bernal de Ramírez y José Luis Villaveces*.

**Algunos efectos adversos de algunos plaguicidas para la salud humana**, a cargo del académico de número *Gabriel Toro*.

**Una clasificación de los conocimientos para uso de la informática**, a cargo del académico correspondiente *Mariano Ospina*.

**Presencia del género *Afropollis* en Colombia y asociaciones palinológicas de la formación Colón y Molino en el nororiente colombiano**, a cargo del académico correspondiente *Hernando Dueñas*.

**Uso de algas bénticas como bioacumuladores de contaminación específica en las costas colombianas**, a cargo del académico de número *Lorenzo Panizzo*.

**Metrización de conceptos en ciencia**, a cargo del académico correspondiente *Jaime Rodríguez*.

**Teoría sobre el origen del caballo de paso colombiano**, a cargo del académico correspondiente *Avaro Torres*.

**Desarrollo sostenido de los ecosistemas cafeteros**, a cargo del académico de número *Julio Carrizosa U.*

En desarrollo de las sesiones públicas y solemnes fueron dictadas las siguientes conferencias:

**Paleopatología en restos óseos precerámicos de la estación Aguazuque 1**, a cargo del Dr. *Gonzalo Correal*.

**El uso de estrellas cefeidas para el establecimiento de las distancias dentro y fuera de nuestra galaxia**, estudio científico de posesión como miembro correspondiente presentado por el Dr. *Wolfgang Gieren*.

**Ensayo sobre la biogeografía de la cuenca del río Magdalena**, estudio científico de posesión como miembro correspondiente presentado por el Dr. *Jorge Hernández C.*

**La cultura Cuna del Chocó - Aspectos históricos**, a cargo del Dr. *Sven Eric Isacson*.

**Dos nuevos grupos piagetianos en la lógica elemental**, estudio científico de posesión como miembro correspondiente presentado por el Dr. *Carlos Eduardo Vasco*.

**La obra de Pierre Bouguer en la Nueva Granada y el descubrimiento de la Gravimetría**, estudio científico de posesión como miembro correspondiente presentado por el Dr. *Armando Espinosa*.

**Antecedentes históricos y desarrollo de la sinanterología en Colombia**, discurso de fondo para tomar posesión como miembro de número presentado por el Dr. *Santiago Díaz Piedrahíta*.

**Del electrón perdido al electrón solitario, 20 años de Química Cuántica en Bogotá**, discurso de fondo para tomar posesión como miembro de número presentado por el Dr. *José Luis Villaveces C.*

**Fijación simbiótica de nitrógeno, estado actual y perspectivas**, estudio científico de posesión como miembro correspondiente presentado por el Dr. *Gerardo Pérez*.

**La ciencia en Colombia en el siglo XIX**, a cargo del Dr. *Luis Duque Gómez*.

Además de las conferencias atrás relacionadas y propias de la vida académica, la corporación participó en la organización y desarrollo de un ciclo de nueve conferencias y una mesa redonda, conmemorativas del centenario del nacimiento de **Erwin Schrödinger** cuya temática fue: “*Consecuencias filosóficas, científicas y tecnológicas de la Teoría Cuántica*”. Este ciclo se llevó a cabo en la Universidad Nacional a partir de octubre de 1987.

Durante este período apareció el primer título de la “*Colección Jorge Alvarez Lleras*”, serie destinada a la publicación de resultados de trabajos de investigación. Se trata del libro “*Estudios morfológicos, autoecológicos y sistemáticos en Angiospermas*”, obra de la autoría del Dr. **Luis Eduardo Mora** que fue muy bien recibida por la comunidad científica tanto a nivel nacional como internacional. Se encuentran en proceso de edición los libros “*Física cuántica, teoría y aplicaciones*” del académico **Guillermo Castillo**, libro con el que se iniciará la “*Colección Julio Carrizosa Valenzuela*”, serie destinada a la divulgación de obras de carácter didáctico, “*Hacia una historia epistemológica de la Química*”, de los doctores **José Luis Villaveces**, **Germán Cubillos** y **Flor María Pineda**, obra con la que se dará comienzo a la “*Colección Enrique Pérez Arbeláez*”, serie destinada a publicar trabajos sobre historia de la ciencia, y “*Consecuencias filosóficas, científicas y tecnológicas de la teoría cuántica*”, libro donde se recopilan los textos de las conferencias del ciclo conmemorativo del centenario de E. Schrödinger.

En cuanto a la *Revista de la Academia*, se publicaron dos entregas; la número 63, con la cual se cierra el volumen XVI y que hoy se presenta, y la número 64 que aparecerá en los próximos días. Un tercer número queda en proceso de edición. Se publicó, además, un fascículo con una breve reseña histórica de la Academia y con el texto de los nuevos Estatutos, vigentes desde julio de 1987.

#### LABORES ADMINISTRATIVAS

Durante el año académico se lograron avances indudables en la organización y modernización de la entidad. Siguió siendo tareas primordiales las de reorganizar la “*Biblioteca Luis López de Mesa*” en cuanto a su sistematización a través de la reelaboración del kárdex, la catalogación, la encuadernación de libros y revistas y la renovación y activación del canje de publicaciones.

La Academia encontró eco en la Administración Postal Nacional y logró que le fuera concedida la “*Franquicia Postal*” para sus publicaciones, así como el permiso de empleo del empaque plástico, aspectos que han facilitado ampliamente la difusión al exterior de nuestras publicaciones, a la vez que han sido un considerable alivio presupuestal. Sea esta la oportunidad de expresar nuestro agradecimiento a los distintos funcionarios del Ministerio de Comunicaciones y de la Administración Postal Nacional que permitieron este hecho y que además distinguieron a la Academia con la emisión de una estampilla, cuyo lanzamiento se realiza el día de hoy, sello postal dedicado al Dr. **Jorge Alvarez Lleras**, miembro fundador y gran impulsor de la Academia, como un homenaje a su memoria, a la Corporación y a los hombres de ciencia del país.

Recientemente se dotó a la Academia con un microcomputador debidamente equipado que ha permitido agilizar las labores administrativas.

#### ESTIMULO A LA INVESTIGACION

En cumplimiento de uno de sus objetivos primordiales como es el de fomentar la investigación científica, la Academia ha creado dos Fondos de singular importancia, uno de ellos destinado a promover las publicaciones y el otro destinado a proporcionar ayuda en el desarrollo de proyectos de investigación. El segundo de estos fondos ya ha contribuido a cofinanciar el trabajo de grado “*Contribución al estudio tipológico de materiales cerámicos pertenecientes a la cultura muisca de acuerdo con sus propiedades físicas y su composición química y mineralógica*” que dirige en la Universidad Nacional la académica **Inés Bernal de Ramírez**, al igual que a cofinanciar el proyecto “*Estudio piloto sobre el uso de algas bénticas como bioindicadores de la contaminación específica en el Caribe colombiano*” que adelanta el académico **Lorenzo Panizzo**.

Dentro de esta misma línea de estímulos y con recursos propios de la Academia se ha puesto en marcha un programa para facilitar a los académicos su asistencia a eventos científicos que se lleven a cabo fuera del país, al tiempo que se ha organizado dentro de los convenios suscritos con la Academia de Ciencias del Tercer Mundo y los acuerdos suscritos con ICETEX, un programa de pasantías destinado a facilitar la venida de científicos de países del tercer mundo a Colombia al tiempo que dará oportunidad a científicos colombianos de viajar a países miembros de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo por temporadas cortas en actividades de investigación y perfeccionamiento. También dentro de los programas auspiciados por la Academia de Ciencias del Tercer Mundo se ha logrado facilitar a la comunidad científica colombiana la asistencia a congresos, simposios y eventos similares, mediante pasajes u otras ayudas económicas. Igualmente se han canalizado recursos externos destinados a la traída de conferencistas que deban participar en certámenes científicos internacionales dentro del país. Mediante este tipo de estímulos la Academia ha contribuido a la realización del “*IV Seminario Latinoamericano de ciencia y tecnología de alimentos*” con una partida equivalente a US\$2.500, al tiempo que proporcionó apoyo financiero, tanto con recursos propios como con recursos provenientes de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, a varios investigadores y como un soporte para asistir a los siguientes eventos:

VI Reunión de paleobotánicos y palinólogos latinoamericanos. São Paulo, diciembre de 1987.

46o. Congreso Internacional de Americanistas y Simposio de Arqueología y medio ambiente. Amsterdam, julio de 1988.

Congreso Latinoamericano de Química. Santiago de Chile, enero de 1988.

Con el fin de fomentar la formación de investigadores, la Academia creó con recursos propios el premio anual “*Academia Colombiana de Ciencias*”, galardón destinado a favorecer trabajos originales e inéditos elaborados en Colombia por investigadores menores de treinta y cinco años. Paralelamente con este premio se convoca otro similar auspiciado por la Academia de Ciencias del Tercer Mundo y que lleva su nombre. La primera convocatoria para otorgar estos premios se realizó durante 1987, habiendo correspondido para el primer año las áreas de Ciencias de la Tierra y Biología, respectivamente. Cada premio se dotó en su primera

versión con una bolsa de \$480.000. La acogida que tuvieron estos premios fue excepcional. Se recibió un total de 24 trabajos, en su mayoría de excelente calidad, lo cual demuestra con creces la bondad de esta medida que cumplió el objetivo propuesto. La entrega de premios se realizó en sesión pública y solemne el 30 de noviembre, habiendo resultado ganadores los siguientes trabajos:

#### **Premio Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**

Primer lugar: Carlos E. Coral Gómez, por el trabajo "Los terremotos en Colombia, características de origen profundo".

Segundo lugar: José Vicente Franco Serna, por el trabajo "Diseño y construcción de un equipo geoeléctrico, aplicación de prueba en la Mina el Roble".

Mención: Diego Tovar Cock, por el trabajo: "Metodología para la determinación de la influencia sinódica de la luna y el sol en los terremotos colombianos".

#### **Premio Academia de Ciencias del Tercer Mundo**

Primer lugar: compartido así: Gloria Galeano y Rodrigo Bernal por el trabajo "Palmas del Departamento de Antioquia-región noroccidental" y Henry Bernal por el trabajo "Crotalaria".

Segundo lugar: Julio Mario Hoyos, por el trabajo "Estudio cladístico de la familia iguanidae (*Sauria: Reptilia*) con base en la musculatura del miembro posterior".

#### **ASESORIAS Y CONCEPTOS**

A través de sus comités asesores y como corporación en pleno, la Academia, en cumplimiento de su función de cuerpo consultivo del gobierno nacional, conceptuó en diferentes aspectos atendiendo solicitudes y consultas de carácter científico hechas por diferentes órganos del poder público. En este período fueron notables los estudios preparados por la Comisión permanente de parques nacionales y medio ambiente, la cual estaba integrada por los académicos *Daniel González, Avaro Torres Barreto* y *Mariano Ospina*. Estos estudios sirvieron de base para conceptuar sobre los proyectos de realindamiento de los parques nacionales naturales de Amacayacú, Corales del Rosario y Area natural única de los Estoraques.

La Corporación ha estado representada a través de sus directivos y de diferentes miembros en diversas juntas y comités, así:

- Instituto Colombiano de Cultura Hispánica.
- Comité de asuntos educativos y evolución de la calidad de la educación.
- Comité del Hombre y la Biosfera.
- Fundación Sierra Nevada de Santa Marta.
- Comisión asesora de preparación de la Ley Marco de Ciencia y Tecnología.
- Grupo de trabajo sobre incentivos y formación profesional del científico.
- Comité preparatorio del año de la Ciencia y la Tecnología.

La Corporación participó además en el Foro Nacional sobre política de ciencia y tecnología para el desarrollo que se celebró en Bogotá en octubre de 1987.

#### **EMBLEMAS**

En el curso de este año y al tenor de lo dispuesto en los Estatutos, se elaboraron escudos de solapa para uso de los académicos y se dotó a la Corporación con la bandera que ya la identifica y que se une a los emblemas tradicionales. Se trata de un lienzo de color sinople con el escudo ubicado en el cantón superior derecho y atravesado por tres fajas doradas en el cuartel inferior.

#### **LEGADO**

Referencia especial requiere la donación hecha a la Academia por parte de sus descendientes, del legado documental del notable botánico **José Jerónimo Triana**. Este rico acervo documental que conservaba celosamente su nieta, Doña **Solange Triana de Fielden-Briggs** y consistente en 46 legajos que incluyen biografías realizadas por sus contemporáneos, correspondencia con sus familiares y con sus colegas de la comunidad científica europea, papeles oficiales, documentos del Consulado General de Colombia en París entre 1863 y 1890, manuscritos botánicos y documentos relativos a la impresión de sus obras, documentos relacionados con la instrucción pública y con la publicación de los mapas de la Comisión Corográfica, papeles referentes a las Exposiciones y Congresos realizados entre 1867 y 1890 y varios certificados y diplomas, fue cedido a la Corporación y traído desde Canadá por el Secretario para ser incorporado a nuestros archivos. La entrega oficial de estos importantes documentos se realizó durante la sesión ordinaria celebrada el pasado 18 de mayo. Sea ésta la oportunidad de reiterar mi reconocimiento a la Familia Triana, a las autoridades consulares de Colombia en Montreal, al personal de la Embajada de Colombia en Washington, a los funcionarios de los Ministerios de Comunicaciones y de Relaciones Exteriores, así como a Colciencias por su colaboración al éxito de esta misión y a las Directivas de la Academia por su confianza al designarme para cumplir con esta tarea.

#### **RELACIONES INTERNACIONALES**

La Academia ha mantenido e incrementado sus nexos internacionales. Desde hace años participa activamente en el Consejo Internacional de Uniones Científicas -ICSU, tanto a través de la Asamblea General como de varios Comités permanentes. Así mismo, mantiene convenios activos con la Academia de Ciencias del Tercer Mundo -TWAS, convenios que han permitido canalizar importantes recursos externos que han servido para organizar y poner en marcha el Premio que lleva el nombre de esta Academia así como los programas de pasantías y de estímulo a la investigación.

La Academia estuvo representada a través de su Presidente y de algunos de sus miembros en la Segunda Conferencia General de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo realizada en Pekín. Igualmente el Presidente participó en el Primer Simposio sobre desarrollo de la Ciencia y la tecnología en América Latina, evento que tuvo lugar en Rio de Janeiro y al cual asistieron todas las academias de ciencias de la región, con las que se mantienen nexos cada vez más estrechos. Desde su origen, nuestra corporación ha conservado lazos muy firmes con la Academia Española de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la cual es correspondiente.

En la medida en que se han incrementado las relaciones internacionales, y teniendo en cuenta que Colombia fue designada como sede de la Tercera Conferencia General de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo, y al tenor del Artículo No. 40 de los Estatutos, se creó un nuevo cargo denominado "Coordinador de asuntos internacionales e interinstitucionales" y que ha venido desempeñando desde febrero de este año la académica ALICIA DUSSAN DE REICHEL.

La nómina de académicos correspondientes extranjeros se incrementó con dos nuevos miembros, los doctores ADRIEN SCHIEDEGER y JEAN TRICART a quienes se les hizo entrega de los diplomas respectivos a través de los Agregados Culturales de sus países.

#### VIDA ACADEMICA

Durante el presente año académico tomaron posesión de sus sillas dos nuevos miembros de número. Se trata del botánico SANTIAGO DIAZ PIEDRAHITA quien ocupó el sillón número 22 y del químico JOSE LUIS VILLAVECES CARDOSO quien ocupó el sillón número 38. Como miembros correspondientes ingresaron a la nómina de la Academia el físico y astrónomo WOLFGANG GIEREN, el naturalista JORGE HERNANDEZ CAMACHO, el matemático CARLOS EDUARDO VASCO, el geólogo ARMANDO ESPINOSA y el químico GERARDO PEREZ, todos ellos

científicos de amplia y reconocida trayectoria quienes sin duda contribuirán, como ya lo han venido haciendo, al progreso y desarrollo de la Corporación.

Infortunadamente, durante este período tan positivo para la Academia en muchos aspectos, la nómina de la entidad se vio afectada con el fallecimiento de tres distinguidos miembros de la Corporación.

El 27 de mayo de este año murió en Bogotá el Dr. **Alfredo Bateman**, miembro de número, expresidente de la Academia y miembro destacado de la comunidad científica e intelectual de la Nación.

El 17 de julio pasado falleció en la ciudad el Dr. **Guillermo Hernández de Alba Lesmes**, miembro correspondiente y destacado historiador.

El 29 de julio murió el Hermano **Daniel González Patiño** f.s.c., miembro de número, director del Museo de la Salle y académico integral.

Al presentar este informe deseo expresar mi reconocimiento a la señorita Bertha Mesa y a los señores Gustavo Rojas y Santiago Rojas, funcionarios de la Academia, por su eficiente colaboración.

Bogotá, D.E., 17 de agosto de 1988.

SANTIAGO DIAZ PIEDRAHITA  
Secretario