

LAS ENTREVISTAS DEL *BOLETIN*

Profesor Julián Adem

las glaciaciones, ha aumentado la investigación para encontrar una base física sólida de los cambios de clima relacionados con cambios en la órbita terrestre.

En 1920, Milankovitch calculó por primera vez las variaciones de la radiación recibida por una superficie horizontal en lo alto de la atmósfera a cualquier latitud. Más tarde, en 1938, correlacionó estas variaciones de la insolación con los cambios de clima en el Pleistoceno y encontró algunas semejanzas entre los cambios en la radiación y los cambios en los registros geológicos disponibles en aquella época.

En 1978, Berger publicó los valores mensuales de insolación, haciendo posible introducir en las simulaciones de los modelos las variaciones mensuales y estacionales de los cambios de insolación orbital. En el decenio de 1970 comenzaron a aparecer varios artículos en apoyo de la teoría astronómica del cambio

de clima, y varios modelos climáticos han simulado con éxito los grandes cambios de clima entre glaciaciones y periodos interglaciares, usando como forzamiento la insolación orbital.

H.T. – ¿Ha publicado Vd. algo sobre este tema?

J.A. – A partir de 1981, he publicado una serie de artículos sobre simulaciones empleando un modelo climático termodinámico acoplado atmósfera-océano en el que, desde 1985, se incluye como variable la temperatura de la superficie del océano, así como el límite entre la nieve y el hielo. Los experimentos incluían simulaciones de los climas desde hace 18 000 años hasta el presente; ya he mencionado antes algunos de los resultados.



El Prof. Adem recibió el título de *Doctor honoris causa* por la Universidad de Veracruz, su estado natal, el 12 de noviembre de 1993

H.T. – Uno de sus artículos recientes se titulaba “Sobre el efecto de las variaciones orbitales en los climas de los próximos 4 000 años”. ¿Puede ampliarnos esto?

J.A. – Presenté este artículo la primavera pasada en la XVIII Asamblea General de la Sociedad Geofísica Europea en Wiesbaden, Alemania, y sólo se ha publicado un resumen de los resultados. Se demuestra que en el hemisferio norte, a causa de las variaciones orbitales, existe un cambio climático estacional. Por ejemplo, dentro de 4 000 años, la temperatura media en superficie en los continentes será más cálida que hoy de marzo a julio y más fría de agosto a febrero, siendo los valores medios extremos de 1,8°C y de -1,4°C en mayo y octubre, respectivamente. Las anomalías aumentan cuasilinealmente a medida que disminuye la latitud, con valores que varían entre 3,0°C y -2,5°C en algunas zonas continentales por debajo de los 20° de latitud. Además, la simulación numérica muestra que, en los climas de los próximos 4 000 años, debido al efecto de las variaciones orbitales, las primaveras y los veranos serán cada vez más secos y los otoños y los inviernos más lluviosos que los actuales.

H.T. – ¿Ha hecho algún experimento sobre las causas de la sequía?

J.A. – Experimentos recientes con el modelo termodinámico acerca de la predicción mensual, han mostrado que las temperaturas de la superficie del océano más cálidas de lo normal en el Pacífico y en el golfo de México, en las regiones contiguas con México, dan lugar a menudo en este país a una predicción de la precipitación con valores inferiores a los normales. Esto sugiere que este tipo de anomalía de la temperatura de la superficie del océano posiblemente podría producir condiciones de sequía que se podrían predecir utilizando el modelo.

H.T. – ¿Ha tenido algún contacto de trabajo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente?

J.A. – He participado en varios cursillos prácticos y reuniones de los programas del PNUMA sobre la desertificación y la vigilancia de los datos climáticos.

H.T. – Virtualmente, ha dedicado toda su vida laboral a la Universidad de México y ha sido durante casi 10 años Director del Centro de Ciencias de la Atmósfera. ¿Es

normal que en México se proporcionen a una persona todos los medios que precise para realizar su labor científica?

J.A. – Sí, esto es normal en todos los centros e institutos de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como en otras instituciones de investigación. Tengo a mi disposición todas las herramientas y medios para realizar mis investigaciones en la forma que desee y, además, he tenido la suerte de trabajar en un ambiente estimulante con excelentes colaboradores, ocho actualmente. Ciertamente, no tengo ninguna razón para quejarme.

H.T. – Ha publicado más de 100 artículos que se han citado en trabajos de investigación de todo el mundo. ¿Está satisfecho con lo que ha logrado?

J.A. – Me siento muy satisfecho. Quizá mi mayor satisfacción sea que he podido realizar un trabajo científico durante toda mi vida profesional y obtener resultados científicos positivos. También he tenido ocasión de transmitir los resultados de mi trabajo a jóvenes y orientarles en sus trabajos.

H.T. – ¿Cuántas universidades e instituciones de investigación extranjeras ha visitado como profesor invitado? ¿Tiene muchos contactos científicos con otras universidades de América Latina?

J.A. – He estado como profesor invitado en unas 20 universidades e instituciones; sin embargo, excepto con la Universidad de Buenos Aires, Argentina, casi no tengo contactos científicos con otras universidades latinoamericanas.

H.T. – Ha recibido muchos premios y distinciones. ¿Cuál de ellos valora más?

J.A. – La distinción que más valoro es la de haber sido elegido miembro de El Colegio Nacional. Este es el mayor honor académico que se concede en México a hombres y mujeres de las artes, de las humanidades o de las ciencias.

H.T. – Díganos algo sobre su revista científica “Atmósfera”.

J.A. – En 1987, mi esposa Thelma y yo discutíamos la posibilidad de editar una revista



México, octubre de 1993 – Julián y Thelma Adem
Fotografía: H. Taba

internacional. Ella tenía muchos años de experiencia en la preparación de la revista trimestral *Geofísica Internacional* y es la editora técnica de la nueva revista "*Atmósfera*". Puesto que queríamos una revista de calidad, invitamos a prestigiosos científicos internacionales a formar parte del consejo editorial. El primer número apareció el 1 de abril de 1988 y desde entonces ha aparecido puntualmente cada tres meses. Incluye artículos de investigación teórica, empírica y aplicada en todos los aspectos de las ciencias

doctorales y, desde luego, continuaré como editor de "*Atmósfera*". Disfruto inmensamente todas estas actividades y pretendo continuar trabajando tanto tiempo como me sea posible.

H.T. – Le felicito, Prof. Adem, por sus logros científicos, incluidos, estoy seguro de ello, los que aún están por venir.

atmosféricas. A fin de asegurar la originalidad y la correcta presentación de los artículos, se someten los trabajos de los autores, que proceden de todo el mundo, a un estricto proceso de revisión.

H.T. – ¿Qué planes tiene para el futuro?

J.A. – Mi último período como director terminará el 24 de noviembre de 1993, por lo que podré dedicar más tiempo a la investigación. Continuaré impartiendo cursos y dirigiendo tesis



LAS ENTREVISTAS DEL *BOLETIN*:

Profesor Julián Adem

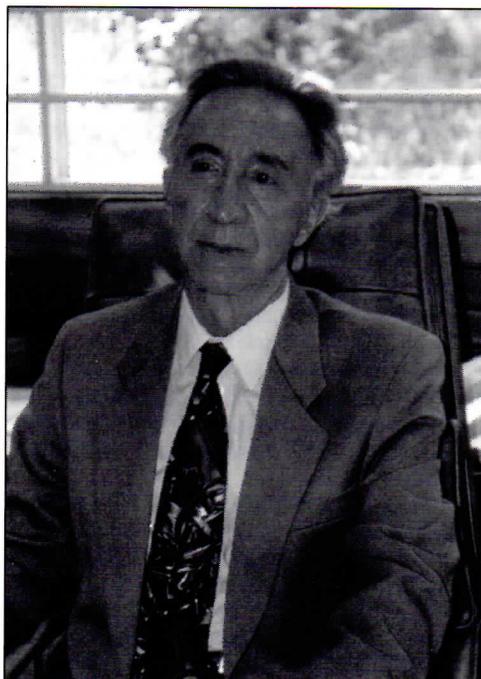
El Dr. Taba recuerda:

Fue a finales del decenio de 1940 cuando se le pidió al Prof. Carl Gustaf Rossby que regresase desde los EE.UU. a Suecia para ayudar a reconstruir la meteorología. Con el respaldo de altas instancias, Rossby pudo fundar el Instituto Internacional de Meteorología como parte de la Universidad de Estocolmo. En aquel momento, estaba cobrando impulso la meteorología, y en especial la predicción numérica del tiempo. Nos visitaban con frecuencia los viejos amigos de Rossby, como Jacques van Mieghem, Erik Palmén, Arnt Eliassen y otras muchas personalidades eminentes. De hecho, en aquellos días había en el instituto más científicos de alto nivel que estudiantes. Entre los llamados estudiantes había unos pocos procedentes de la Fuerza Aérea y de la Armada de los EE.UU., algunos escandinavos y, ocasionalmente, uno o dos de países en desarrollo. La mayoría de los estudiantes de las zonas en desarrollo del mundo no regresaba a sus países de origen tras terminar sus estudios. Una de las excepciones fue nuestro entrevistado de este número: el Profesor Julián Adem, de México.

Conocí a Julián en Estocolmo, en el Instituto, a finales de 1954. Me cayó bien inmediatamente. Era un soltero de buena apariencia, tímido y cortés: justamente las cualidades que apreciaban las jóvenes del Instituto. Supe que Julián era doctor en matemáticas (don divino para mí, que luchaba por tener un título) y le quedé muy agradecido por las horas que dedicó a ayudarme con las matemáticas. Julián regresó a México en 1956 tras publicar un artículo científico en *Tellus* y haber adquirido muchos conocimientos, aunque no una esposa sueca.

Aquí presentamos brevemente a Julián Adem para los lectores que no lo conozcan personalmente.

Julián nació en enero de 1924 en México. Asistió a las escuelas elemental, media y preparatoria en Tuxpan, Veracruz. En aquellos primeros años ya era evidente su inclinación por las matemáticas. Estudió ingeniería civil y matemáticas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su primer encuentro con la geofísica fue a través de la sismología. Reconociendo el talento de Julián,



México, Distrito Federal, noviembre de 1993 – El Prof. Julián Adem en su despacho del Centro de Ciencias de la Atmósfera
Fotografía: H. Taba

el Ing. Ricardo Monges López, director del Instituto de Geología, le ofreció un trabajo que aceptó en 1947, lo que supuso su entrada oficial en el mundo de la geofísica. Cuando dos años más tarde se fundó el Instituto de Geofísica, Julián formó parte de su equipo de investigadores. En 1951 marchó a la Universidad de Brown, EE.UU., y tras cinco semestres obtuvo un doctorado en matemáticas aplicadas.

A su regreso a México en 1953, Julián dio algunas clases de temas relacionados con la mecánica de los medios continuos y la elasticidad. Fue durante esas clases cuando conoció al Dr. C. C. Wallén, meteorólogo sueco y experto de la UNESCO en México. Y fue así como Julián fue a Estocolmo desde octubre de 1954 a mayo de 1956. El que conociese allí a Rossby fue fundamental para su carrera como investigador científico en meteorología.

preparatoria, lo que me financió mis cinco años de estudio en la universidad.

H.T. – ¿Qué estudió en la Universidad?

J.A. – Estudié ingeniería civil desde 1943 hasta 1947, obteniendo el título en febrero de 1948, y matemáticas desde 1945 hasta 1950.



Prácticas topográficas realizadas por Julián Adem cuando era estudiante de ingeniería civil en enero de 1944

H.T. – Díganos cómo es que dejó México para ir a los EE.UU.

J.A. – En 1947, cuando preparaba mi tesis en ingeniería sobre los efectos sísmicos en los edificios, bajo la supervisión de Alberto J. Flores, destacado profesor de ingeniería estructural, fui a ver al ingeniero Ricardo Monges López, director en esa época del Instituto de Geología, para obtener datos sísmicos. El ingeniero Monges López me dio los datos y al mismo tiempo me ofreció un trabajo de ayudante de investigación, que me permitía terminar mi tesis y continuar mi investigación sobre la elasticidad y la propagación de ondas. En 1949, cuando se fundó el Instituto de Geofísica y nombraron director a su fundador, Monges López, me trasladaron al nuevo instituto como investigador científico. Trabajé con Marcos Moshinsky, uno de los mejores físicos del país,

y publicamos juntos un par de artículos. Siguiendo su consejo me fui en 1951 a la Universidad de Brown, Rhode Island, EE.UU., para continuar mis estudios. Entre mi graduación y mi marcha a los EE.UU., también enseñé matemáticas y mecánica en la Escuela de Ingeniería.

H.T. – ¿Qué materias estudió y qué titulación obtuvo?

J.A. – Las materias fueron dinámica de fluidos, elasticidad, plasticidad, ecuaciones diferenciales y otros cursos que se enseñaban en la especialidad de matemáticas aplicadas. Obtuve el doctorado en matemáticas aplicadas en mayo de 1953. Mi tesis, sobre propagación de ondas elásticas, la dirigió el Prof. George Carrier, famoso matemático aplicado que más tarde se trasladaría a la Universidad de Harvard.

H.T. – Vd. y yo coincidimos en el Instituto Internacional de Meteorología de Estocolmo, Suecia. ¿Haría el favor de decir a los lectores qué hacía allí?

J.A. – Tras obtener el doctorado, regresé a México para continuar con mis actividades de investigación y enseñanza en el Instituto de Geofísica, que entonces estaba instalado en la recién creada Ciudad Universitaria. En 1954, conocí a Wallén¹, que estaba en México en una misión de la UNESCO para crear un instituto de meteorología. Asistió a una conferencia que di sobre las aplicaciones posibles de la dinámica de fluidos a la atmósfera. Al día siguiente, me dijo que uno de los principales lugares en los que ya se estaban desarrollando esas aplicaciones era el Instituto Internacional de Meteorología de la Universidad de Estocolmo, y que él podía conseguirme una estancia larga en el Instituto. Al cabo de pocos días recibí una carta del propio Rossby invitándome amablemente a incorporarme al grupo de Estocolmo que él dirigía.

H.T. – ¿Qué hizo en Estocolmo y quiénes eran sus colegas?

J.A. – Mi estancia en Estocolmo desde octubre de 1954 hasta mayo de 1956 fue una experiencia estimulante, que me permitió introducirme en las ciencias atmosféricas y en la meteorología. Seguí varios cursos, por ejemplo: el de meteorología dinámica de Bo

¹ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 42 (1)

Döös², el de circulación general de la atmósfera de Bert Bolin³, y el de física de nubes de F. Ludlam, y participé en muchos seminarios, la mayoría de los cuales estaban dirigidos por el Prof. Rossby. Entre mis colegas, aparte de Vd. y de los que acabo de mencionar, estaban Aksel Wiin-Nielsen⁴, Erik Eriksson, Claes Rooth, Ramassuamy (de la India), Jerome Namias⁵ (de los EE.UU.), W. Hansen (de Alemania) y otros que con los años han destacado en las ciencias atmosféricas y oceánicas. También conocí a muchos meteorólogos eminentes que estaban invitados para visitas cortas o para impartir cursos: H. Flohn⁶, R. Fjørtoft⁷, E. Palmén⁸, J. Charney, T. Bergeron y muchos otros. En pocas palabras, tuve la suerte de conocer a muchas personalidades destacadas y de ser introducido en los problemas básicos de la meteorología.

H.T. – ¿Publicó algo como resultado de su experiencia sueca?

J.A. – Durante mi estancia en Estocolmo, tuve la inmensa fortuna de que me orientase personalmente el propio Prof. Rossby. Siempre me gusta contar la siguiente anécdota. Una tarde me invitó Rossby a tomar café y mientras estábamos tomándolo cogió una servilleta, la extendió sobre la mesa, dibujó en ella un círculo y me dijo: “Julián, suponiendo que esto sea un ciclón dentro de una atmósfera en reposo, me gustaría que Vd. aplicase la ecuación de la vorticidad para averiguar cómo se mueve”. Trabajé mucho en este problema, y encontré una solución que mostraba que, debido a la variación del parámetro de Coriolis, el movimiento era hacia el noroeste. Posteriormente, esto se convirtió en 1956 en mi primera publicación meteorológica en *Tellus*.

H.T. – Supongo que desde Estocolmo regresaría a México

² Director del Personal de Planificación Mixta para el GARP, Secretaría de la OMM, 1971-1982

³ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 37 (4)

⁴ Director del CEPMPM de 1974 a 1979 y Secretario General de la OMM de 1980 a 1983

⁵ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 37 (3)

⁶ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 32 (3)

⁷ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 37 (1)

⁸ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 30 (2)



Julián Adem (izquierda) con un colega, el día de la obtención de su doctorado por la Universidad de Brown (mayo de 1953)

J.A. – Tras mi estancia en Estocolmo, en el verano de 1956 regresé como Investigador Titular y Director Auxiliar al Instituto de Geofísica de la Universidad, donde realicé tareas de investigación y administrativas. También impartí cursos de ciencias atmosféricas en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias y colaboré para organizar la participación de México en el Año Geofísico Internacional (1957/1958).

H.T. – En octubre de 1959 le nombraron Director del Instituto de Geofísica y permaneció en ese puesto hasta 1965. ¿Cuál era en esa época la estructura del Instituto y qué innovaciones introdujo?

J.A. – Inicialmente, el Instituto investigaba principalmente sobre las ciencias de la Tierra sólida y, más tarde, sobre oceanografía física. También incluía el Servicio Sismológico Nacional, una red de estaciones mareográficas y un observatorio geomagnético, que se mantuvo y se modernizó para dar el mejor servicio posible. Introdujo en los programas de investigación las ciencias atmosféricas y los estudios del espacio exterior. La Sección de Ciencias Atmosféricas se reforzó considerablemente en 1962, cuando concluyó

la misión de la UNESCO iniciada por C. C. Wallén, y el personal y el equipo del Instituto de Ciencias Aplicadas que él fundó se transfirieron a varios institutos universitarios, en especial al Instituto de Geofísica.

H.T. – Creo que en esa época sus actividades fueron muchas y variadas.

J.A. – En noviembre de 1960 se fundó la Unión Geofísica de México, de la que me nombraron primer presidente. En 1961 lanzamos la publicación trimestral “*Geofísica Internacional*”, siendo sus primeros coeditores M. Maldonado Koerdell y yo. En aquella época mi principal trabajo de investigación consistía en encontrar una explicación física de la temperatura hemisférica zonalmente promediada. En el modelo al que llegué, utilizaba un coeficiente de intercambio de tipo Defant para el transporte turbulento del calor. Este trabajo se presentó en la Asamblea General de la UIGG en Helsinki, en 1960, y se publicó en *Tellus* en 1962. Creo que fue el primer modelo de balance de energía.

H.T. – ¿En qué momento regresó a los EE.UU.?

J.A. – En 1961, el Instituto de Geofísica invitó a Namias como profesor visitante para dar un curso de dos meses y disfrutamos con fructíferas discusiones. Leyó el manuscrito relacionado con mi modelo zonalmente promediado, sugirió que podría ser útil para la predicción a largo plazo, y me invitó a pasar en 1963 un año sabático en la División de Predicción Extendida que él dirigía en Washington. Después de un año, regresé a México donde, a finales de 1965, terminé mi primer período de seis años como director. No obstante, durante 1964 y 1965 no se interrumpió la investigación que yo había iniciado en la División de Predicción Extendida; continué supervisándola como consultor, y durante este proceso viajé frecuentemente a Washington.

H.T. – Sin embargo, no permaneció en México durante mucho tiempo.

J.A. – Aunque a finales de 1965 era elegible como director por un período de otros seis años, Namias me invitó a que volviese a Washington y me dedicase totalmente a la investigación que ya había comenzado en

1963. Decidí aceptar, y me trasladé a Washington, donde permanecí hasta 1971.

H.T. – Sería interesante para los lectores conocer algo de su trabajo en los EE.UU. sobre la predicción extendida del tiempo.

J.A. – La División de Predicción Extendida, que forma parte del Centro Meteorológico Nacional, tiene la responsabilidad de elaborar predicciones extendidas y a largo plazo. Además de Jerome Namias, mis colegas eran Philip Clapp, William Klein, D. Gilman, Julian Possey y R. Dickson. En el mismo edificio trabajaban también para la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera F. Shuman, H. Landsberg⁹, Jay Winston, J. Smagorinsky¹⁰, S. Manabe y otros distinguidos científicos de la atmósfera. Era un entorno estimulante: todos contribuían al progreso y a la aplicación de la meteorología y la climatología modernas basadas en modelos estadísticos y físicos que utilizaban datos de satélite y computadoras cada vez más potentes. Me interesaba sobre todo la predicción mensual, que se preparaba subjetivamente utilizando, además de la información estadística, las anomalías de la temperatura de la superficie del océano y la cubierta de nieve y hielo.

H.T. – Quizá pueda decirnos algo acerca de su trabajo sobre el modelo termodinámico promediado en el tiempo.

J.A. – Desde que empecé a trabajar con este grupo, intenté desarrollar un modelo que pudiera incorporar la información que estaba disponible y que ya se utilizaba en forma subjetiva. La base de este modelo de predicción a largo plazo promediado en el tiempo fue mi trabajo anterior sobre un modelo de balance de energía zonalmente promediado. Decidimos desarrollar un modelo hemisférico, utilizando la rejilla reducida de 512 puntos del NMC. El modelo consta de una capa atmosférica de unos 10 km de espesor, incluida una capa nubosa; una capa oceánica de 50 m de espesor; y una capa continental de espesor despreciable. La ecuación básica de predicción es la de conservación de la energía térmica que, cuando se aplica a la capa atmosférica y a la capa oceánica (o continental), da lugar a dos ecuaciones que

⁹ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 33 (2)

¹⁰ Entrevistado en el *Boletín de la OMM* 32 (3)

contienen como variables la temperatura media de la troposfera, las temperaturas del suelo continental y de la superficie oceánica y los términos de calentamiento y de transporte. Las otras leyes de conservación se usan en forma diagnóstica, junto con relaciones semiempíricas, para parametrizar los componentes de calentamiento y de transporte. Saqué provecho de largas discusiones con Namias, Clapp y muchos otros, así como del apoyo del grupo para preparar los datos y las parametrizaciones que el modelo requería.

H.T. – ¿Cómo funciona el modelo?

J.A. – El procedimiento empleado consiste en calcular primero los valores normales para el mes considerado, utilizando los valores iniciales normales observados en el mes anterior; luego, se hace la predicción de los valores para el mes particular tomando como condiciones iniciales los correspondientes valores observados en el mes anterior.

Las anomalías previstas se obtienen restando de los valores particulares calculados, los valores normales calculados para el mes dado. Las variables iniciales son: (a) la temperatura superficial oceánica del mes anterior; (b) la temperatura en 700 hPa del mes anterior; y (c) el albedo basado en la distribución de la nieve y del hielo en la última semana del mes anterior.

El modelo se procesaba en tiempo real y se utilizaba para preparar las predicciones mensuales. Se publicaron varios artículos con la evaluación de los resultados, así como con las parametrizaciones y los datos utilizados. Desde entonces, el modelo ha sido utilizado y mejorado por otros grupos, en especial el de W. Donn y sus colaboradores, en el Observatorio Geológico Lamont de la Universidad de Columbia, los científicos de la antigua URSS y, desde luego, mi grupo de México.

H.T. – ¿Por qué abandonó finalmente los EE.UU y regresó a México?



Julián Adem (*fila central, cuarto por la izquierda*) fue el jefe de una expedición científica a la isla Socorro (México) en enero de 1958

J.A. – Me ofrecieron de nuevo el puesto de Director del Instituto de Geofísica, y lo acepté. Creí que era una excelente oportunidad de utilizar mi experiencia para ayudar a que en México avanzase la geofísica y, en particular, las ciencias atmosféricas.

H.T. – ¿De qué naturaleza eran principalmente los problemas científicos a los que se enfrentó en México?

J.A. – Eran sobre todo problemas atmosféricos. Mi vuelta coincidió con la fundación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, donde yo dirigía un programa nacional para mejorar el nivel de la meteorología en México, y en concreto para modernizar el Servicio Meteorológico. Participaban todas las instituciones relacionadas con la meteorología. El grupo de ciencias atmosféricas del Instituto de Geofísica había crecido, porque había absorbido la mayor parte del personal del Instituto de Ciencia Aplicada de la UNESCO, creado por C. C. Wallén en 1954, cuando éste se cerró en 1962. Además, se unieron al grupo varios jóvenes preparados por nosotros o procedentes de otras partes.

H.T. – Creo que el año 1977 puede considerarse como un año importante en su carrera...

J.A. – Es muy cierto. A mediados de 1976, envié a las autoridades de la Universidad un proyecto para crear el Centro de Ciencias Atmosféricas. Se aprobó en febrero de 1977 y me nombraron su director.

H.T. – Haga el favor de describirnos el Centro y sus actividades.

J.A. – El Centro comenzó con las secciones del Instituto de Geofísica: ciencias atmosféricas, contaminación atmosférica e instrumentación meteorológica. Se concibió como una institución interdisciplinaria con tres departamentos. Uno de ellos se ocupa de la teoría del clima y de la predicción, donde desarrollamos y aplicamos modelos numéricos para estudios del clima y para la predicción a corto y largo plazo. Damos pleno apoyo al Servicio Meteorológico, que ya ha adoptado dos de nuestros modelos numéricos, uno barotrópico y otro baroclínico, para usarlos en la preparación de las predicciones diarias del tiempo. El segundo departamento trata de manera interdisciplinaria de los estudios ambientales, sobre todo del problema de la

contaminación del aire. Incluye los aspectos físicos, químicos y biológicos, con especial énfasis en el problema de la contaminación del aire en la ciudad de México. Este departamento da también soporte a las instituciones gubernamentales pertinentes. El tercer departamento se ocupa de la meteorología general, sinóptica y tropical, de la electricidad atmosférica, de la física de nubes y de la meteorología urbana. El Centro tiene también un laboratorio de instrumentos, que se dedica a dar mantenimiento al equipo y a diseñar nuevos instrumentos. Actualmente, el Centro tiene un total de 28 investigadores y 43 técnicos.

H.T. – ¿Considera que su trabajo científico en el campo de la climatología y de la modelización del clima ha sido puramente teórico o puramente práctico?

J.A. – Lo considero como una combinación de ambos. Cuando se trata con problemas y temas relacionados con el clima, sus variaciones y sus consecuencias, se necesita una fuente continua y viable de datos. Un modelo teórico se tiene que probar para ver cómo es de realista. La situación ideal es la de un lugar donde trabajen juntos los especialistas de ambos campos, como era el caso cuando trabajé en Washington con Namias y su grupo.

H.T. – ¿Qué parámetros tiene en cuenta para modelizar el clima?

J.A. – Los modelos incluyen las siguientes variables mensuales promediadas en el tiempo: temperatura media de la troposfera, temperatura de la superficie del océano, temperatura del suelo continental, viento troposférico, corrientes oceánicas superficiales, extensión horizontal de la nubosidad y albedo superficial, que se calcula acoplando el límite de la cubierta de nieve y hielo con la isoterma de cero grados Celsius. Se usa la insolación mensual del momento. En los experimentos de simulación de climas pasados y futuros se emplean las anomalías mensuales de insolación debidas a la variación orbital, calculada según A. Berger.

H.T. – ¿Qué parámetros considera los más importantes?

J.A. – La importancia de las variables y de los parámetros depende del tipo de experimento: por ejemplo, el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera es el parámetro más importante cuando se simula el efecto de un aumento de este gas invernadero sobre el

clima. Creo que las variables más importantes son las temperaturas de la troposfera, de la superficie del océano y del suelo continental.

H.T. – ¿Qué tipo de observaciones de satélite considera necesarias para predecir las variaciones mensuales y estacionales del clima?

J.A. – Considero que son necesarias las anomalías de temperatura del agua del mar y la cubierta de nieve y hielo.

H.T. – ¿Se ajustan los resultados de sus predicciones del clima mediante modelos numéricos a los cambios reales?

J.A. – Sólo hemos hecho predicciones para períodos de un mes. Los resultados de predecir las anomalías de temperatura superficial son buenos. Se han publicado varios artículos sobre el tema. En 1986, W. Donn, R. Goldberg y yo mismo, publicamos en el *Bulletin of the American Meteorological Society* la comprobación más completa de unas 100 predicciones para los EE.UU.

H.T. – ¿Cómo evalúa los resultados de los experimentos que ha realizado relativos a predicciones de la temperatura del océano utilizando un modelo termodinámico del clima?

J.A. – Los experimentos sobre predicciones de la temperatura en los océanos han mostrado continuamente buenos resultados en los océanos Pacífico y Atlántico, como se informó en *Tellus* en 1975. Experimentos recientes en el Centro de Ciencias de la Atmósfera con modelos revisados han mostrado mejoras, y nos dan la posibilidad de hacer en el golfo de México predicciones con más resolución.

H.T. – ¿También ha realizado algunos experimentos, utilizando un modelo termodinámico, acerca del efecto de un aumento del CO₂ atmosférico?

J.A. – R. Garduño y yo hemos realizado experimentos sobre el efecto climático de duplicar la cantidad de CO₂. Encontramos que los efectos de retroalimentación debidos al vapor de agua, a las nubes, a la nieve y al hielo tienen una influencia significativa en los resultados, que dependen de la parametrización de estos mecanismos. En concreto, encontramos que la banda de vapor de agua en la longitud de onda que va de 12 a 19 μm , en la que interaccionan el CO₂ y el H₂O,

tiene un papel importante en los resultados, aumentando considerablemente la temperatura simulada, cuando no se incluye el H₂O. Esto podría explicar en parte las grandes discrepancias en los resultados obtenidos por diferentes autores. Seguimos trabajando en este importante aspecto.

H.T. – Vd. ha realizado una simulación numérica del clima de hace 18 000 años. ¿Cuánto se aproximó a la realidad?

J.A. – Las temperaturas superficiales simuladas del hemisferio norte sobre los continentes se compararon con las temperaturas en varias localidades, basadas en el análisis del polen fósil y de otras pruebas periglaciales. Obtuve un buen acuerdo general.

H.T. – Hizo una simulación numérica de la temperatura de la superficie del mar para el mismo periodo. ¿Qué encontró?

J.A. – También encontré un buen acuerdo general con las temperaturas superficiales del hemisferio norte calculadas a partir de los análisis de muestras del fondo del mar realizados por CLIMAP. El modelo simuló temperaturas más frías que las actuales, debidas, sobre todo a las capas de hielo continental que existían en aquella época; se reforzaban ligeramente las bajas temperaturas porque había menos dióxido de carbono que actualmente. Además, la variación orbital tenía sólo un efecto estacional relativamente pequeño en las temperaturas simuladas.

H.T. – Explíquenos, por favor, los efectos de las variaciones orbitales sobre el clima.

J.A. – Los cambios en la insolación que recibe la Tierra están asociados con las variaciones en su órbita circunsolar, que están definidas por tres parámetros: la inclinación del eje de la Tierra respecto al plano de la eclíptica, u oblicuidad; la longitud del perihelio, que se mide como la distancia angular del perihelio al equinoccio de otoño, y que define la estación en la que la Tierra está más próxima al Sol; y la excentricidad, que es la medida de la separación del Sol respecto del centro geométrico de la órbita terrestre. Los tres parámetros orbitales de cualquier época pasada o futura pueden calcularse a partir de las ecuaciones de la mecánica planetaria.

Desde que Adhémar propuso por primera vez en 1884 una explicación astronómica para