

**LA
ASTROFISICA
DEBE DESARROLLARSE
EN CHILE**



Carlos López, Físico Teórico, investigador del Departamento de Física.

Aunque casi toda la tecnología es producto del quehacer científico, la mayoría de los hombres de ciencia en los momentos que realizan una investigación están interesados en el desarrollo de la ciencia en sí, más que en las posibles aplicaciones prácticas, que eventualmente pudieran resultar de su trabajo.

La labor de un físico teórico es algo que beneficia la vida espiritual, un elemento cultural, como podría ser la música u otro arte, que también es importante para la humanidad. Las aplicaciones prácticas vienen como un subproducto, como una añadidura. No significa esto que el hacer de un teórico no tenga valor ni importancia para la sociedad, porque al fin y al cabo, no sólo de pan vive el hombre.

Lo que motiva al científico es la curiosidad por conocer las leyes de la naturaleza, ejemplo de ello, las propiedades e interacciones entre los constituyentes últimos de la materia, como también, en el otro extremo, la estructura y evolución del universo en su conjunto. Con estas aseveraciones se inició la conversación con el investigador de Física Teórica, Carlos López Silva, quien nos respondió a una consulta sobre la importancia y validez de su disciplina.

La labor de los físicos teóricos, nos señaló — además de sus investigaciones propiamente tales, las cuales eventualmente podrían derivar en aplicaciones prácticas, juegan un papel importante en el nivel de la docencia en la disciplina, no sólo para formar físicos, sino que también para la formación de ingenieros. La afirmación muy difundida de que todos los científicos deban dedicarse a la investigación aplicada no es correcta. Lo importante agregó Carlos López — es que este trabajo de investigación conduzca a una superación de la tecnología del país y a eso contribuyen los físicos teóricos e incluso, los matemáticos puros. Al haber investigación de alto nivel en teoría, independientemente de la rama de la física que uno desarrolle, se garantiza a través de un proceso que yo llamo reacción en cadena, una buena formación en física de futuros profesionales, los cuales se dedicarán a la docencia o a la ingeniería. El conocimiento, el espíritu que uno les ha transmitido lo llevarán a su vez a su propio campo de acción, en la tecnología o en la industria. Sería absurdo — dijo — exigirles a los teóricos que realicen investigación aplicada, puesto que no están preparados para ello. Esto sería un derroche de talento y de tiempo. No obstante se proyectan en la tecnología a través de la formación de ingenieros o de físicos aplicados. De esa manera, partiendo desde arriba como en una pirámide, su influencia se propaga hacia abajo, mejorando el nivel global de la enseñanza y por ende de las profesiones directamente aplicadas.

Carlos López señaló que el entrenamiento, la práctica que da la investigación es importante y eso, lo puede enseñar solamente alguien que hace investigación original y de buen nivel. Nuestros trabajos realizados en el Departamento de Física han sido siempre publicados en revistas internacionales, que tienen comités editoria-

les muy exigentes. Este profesionalismo garantiza la calidad de la docencia tanto en física como en ingeniería.

Relatividad general: Cosmología y Astrofísica

Carlos López, desde que terminó sus estudios en 1960, ha estado dedicado a la investigación en física teórica, siguiendo diferentes líneas de la disciplina, entre ellas, Analiticidad en Mecánica Cuántica, Teoría Clásica del Electrón, Electrodinámica Cuántica y Relatividad General.

El investigador nos indicó que la relatividad general, como teoría de la gravitación, es muy importante en las aplicaciones en astrofísica y cosmología que estudian, la primera, los objetos que existen en el universo (estrellas, galaxias, etc) y la segunda el universo en su conjunto, en su totalidad. Ambas líneas han tenido un avance notable en estos últimos tiempos.

El desarrollo experimentado por la Astrofísica y la Cosmología se debe en parte al avance tecnológico, a la aparición de los satélites artificiales, radiotelescopios, detectores de Rayos X, que se lanzan en los vehículos espaciales.

Carlos López indicó que el avance reciente de la Astrofísica (pulsares, agujeros negros, cuasares, etc) ha tornado importantes los efectos de la relatividad general. Hasta hace muy poco, salvo pequeñísimas correcciones, bastaba con la teoría de gravitación de Newton para estudiar las estrellas y galaxias.

Astrofísica en Chile

El estudio de la Astrofísica en nuestro país es muy importante, porque tenemos la suerte de contar con grandes telescopios



Situación del Sistema Solar en la Vía Láctea.

instalados en el Norte Chico, como son los Observatorios de Cerro Tololo, Las Campanas y La Silla, que están entre los centros astronómicos más importantes del mundo. Esta situación es debida a la extraordinaria transparencia y estabilidad de la atmósfera de la región, y además, porque en el hemisferio sur se encuentran los objetos más importantes como el centro de la Galaxia, nubes de Magallanes, etc, los cuales no son visibles en países tales, como Estados Unidos, Europa, Japón y la Unión Soviética.

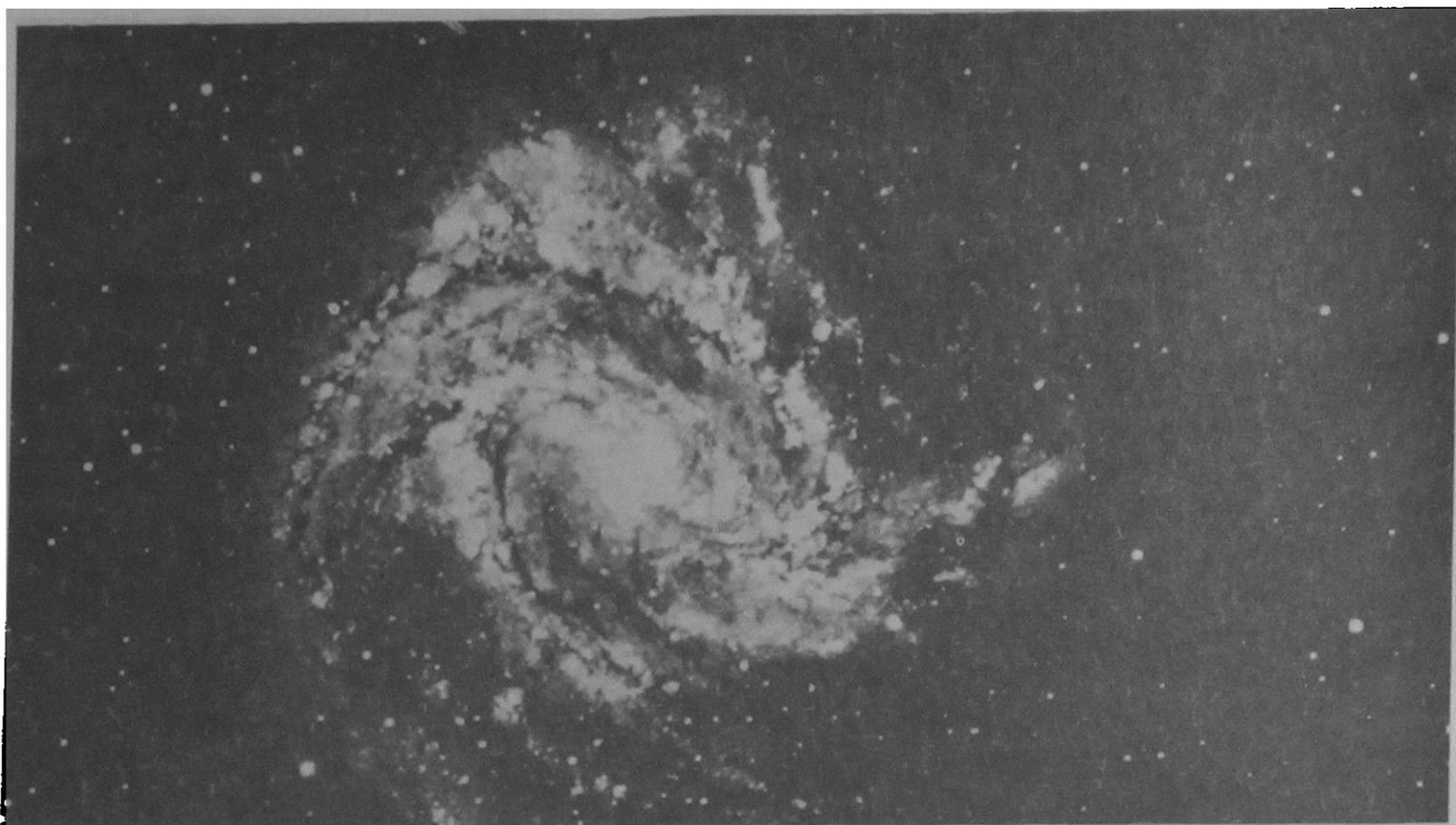
Los físicos de la Universidad de Chile, especialmente los astrofísicos, deben aprovechar las instalaciones existentes en esa zona para desarrollar una vasta labor de investigación, manifestó el académico. Allí todo está dado. No hay que efectuar ninguna inversión, las instalaciones existen. Las condiciones son ideales para la experimentación. Porque resulta que los telescopios han dejado de ser instrumentos que se utilicen sólo para mirar. El trabajo actual con estos instrumentos es similar al que se realiza con los aceleradores de partículas, por ejemplo. Para emplearlos en buena

forma, se necesitan físicos teóricos que estén interesados en las grandes líneas de la astrofísica y también de la cosmología, ya que ambas están íntimamente relacionadas y se complementan.

Por otra parte y dentro de la relatividad general, el investigador ha realizado estudios sobre las ondas gravitacionales: su generación y propagación. Este tema ha dejado de ser un problema exclusivamente académico, debido a que recientemente se ha observado en forma indirecta, la existencia de ondas gravitacionales provenientes de un sistema de dos estrellas compactas, una de las cuales es un pulsar.

**Ondas gravitacionales:
Energía gravitacional a partir de un lagrangiano cuadrático con torsión**

En un trabajo, Carlos López ataca el problema de la propagación de ondas gravitacionales en el vacío, estableciendo una analogía con el caso bien conocido de las ondas electromagnéticas. En efecto, la electrodinámica,



Galaxia Espiral. La vía láctea presentaría un aspecto similar vista de otra galaxia.

describe el flujo de energía por medio del tensor de Maxwell, el cual es cuadrático en los campos eléctricos y magnético. A su vez este tensor se obtiene de un lagrangiano también cuadrático en los campos. En cambio, la teoría general de la relatividad se formula en base al lagrangiano de Einstein-Palatini, lineal en las componentes del tensor curvatura. En la interpretación usual, se considera como campo gravitacional a la conexión afín del espacio. Esta identificación está basada en la propiedad del lagrangiano de Einstein-Palatini de ser equivalente, a menos de una divergencia, a una expresión cuadrática en la conexión afín. De aquí se obtiene un pseudo tensor que representa la energía potencial de una masa de prueba inmersa en un campo gravitacional. Esta energía mide el trabajo realizado por las fuerzas que causan la aceleración ordinaria (no la aceleración covariante) de la partícula. Esta interpretación equivale a establecer un paralelismo entre la ecuación de Lorentz, que gobierna el movimiento de una partícula cargada en un campo electromagnético, y la ecuación de las geodésicas en la relatividad general.

Una tal analogía, pese a destacar la similitud del movimiento de cargas y masas, no exhibe la verdadera estructura dinámica del campo gravitacional. El concepto mismo de geodésica corresponde a una concepción del movimiento de una masa de prueba como un efecto puramente inercial, es decir, con aceleración absoluta nula. El contenido dinámico del campo gravitacional se expresa, en cambio, por medio de las fuerzas de marea, las cuales producen una aceleración relativa entre dos masas vecinas. Esta aceleración está descrita por la ecuación de desviación geodésica, que debe considerarse equivalente a la ecuación de Lorentz de la electrodinámica. En consecuencia, el campo gravitacional está más propiamente caracterizado por el tensor curvatura de Riemann, que por la conexión afín.

Un argumento independiente, que confirma la correspondencia entre el tensor de campo electromagnético y el tensor curvatura, resulta de considerar la gravitación como un campo de medida. Como mostró Weyl en 1931, el campo electromagnético compensa la no invariancia del lagrangiano de una partícula cargada respecto de varia-

ciones locales de fases. El mismo Weyl en 1929 y más tarde Utiyama en 1956, probaron que el tensor curvatura emerge como campo compensador asociado a transformaciones locales de Lorentz. Posteriormente, en 1961 Kibble extendió esta invariancia al grupo de Poincaré incluyendo las traslaciones. El campo compensador en este caso está formado, además de la curvatura, por la torsión del espacio tiempo.

Según la teoría general de los campos de medida, el lagrangiano libre debe ser función solamente de los potenciales y de los campos. Por analogía con la electrodinámica, debe ser una expresión cuadrática tanto en la curvatura como en la torsión. Aunque diversos autores han introducido lagrangianos cuadráticos en el pasado, sus enfoques no conducen a leyes de propagación dinámica de la curvatura y especialmente de la torsión. En cambio, en el presente trabajo se postula un lagrangiano cuadrático que conduce a dos ecuaciones diferenciales acopladas de primer orden para la curvatura y la torsión. En el vacío cada campo se comporta como una fuente del otro, de un modo perfectamente análogo a lo que ocurre con los campos eléctricos y magnéticos en una onda electromagnética. Se demuestra también, al igual como no puede existir una onda electromagnética si el campo magnético o el eléctrico es idénticamente nulo, tampoco puede existir una onda gravitacional si la curvatura o la torsión son idénticamente nulas.

La conclusión es entonces, que solamente en espacios con torsión puede propagarse energía gravitacional y que esta energía es compartida por los campos de curvatura y de torsión.

Extensión

Carlos López señaló que otra cuestión que

preocupa a los físicos teóricos es la difusión de su disciplina. Desean llevar el mundo apasionante de la Física de Fronteras al público en general, porque es obra del espíritu humano y vale la pena que todos lo conozcan sin deformación, sin mezcla de ciencia-ficción.

El Consejo de Rectores de la Universidad Chilena concretó la publicación de monografías para la comprensión de la ciencia y la tecnología, donde en forma clara y sencilla se expone el desarrollo histórico de las grandes ideas con citas originales de los autores más representativos. Están orientados en especial a los estudiantes que finalizan sus estudios medios.

Carlos López escribió dos monografías sobre Gravitación y Cosmología, que llevan como subtítulo *Del Genesis al Apocalipsis*. La primera estudia el sistema solar y la segunda, el universo.

Según el autor, el esfuerzo realizado para escribirlas es importante, porque en cierta forma, uno está haciendo propaganda a la cosmología, con el objeto de incentivar a los jóvenes a interesarse en astrofísica, ya que como se dijo anteriormente, es una rama de la física que tiene buenas posibilidades de desarrollo en Chile, por la existencia de los grandes observatorios astronómicos del Norte.

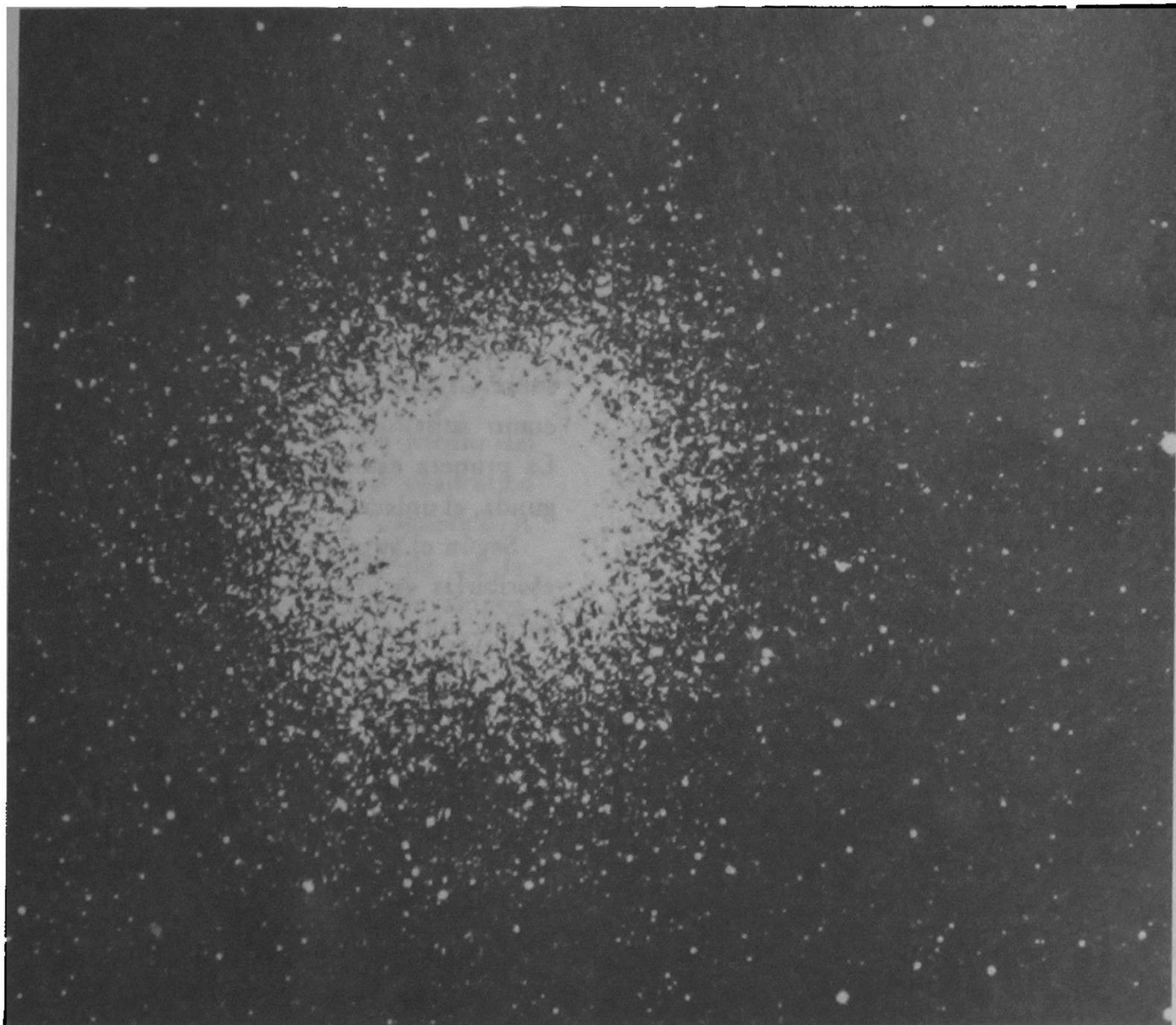
También se han realizado cursos de extensión con la participación de todos los investigadores del grupo de física teórica de nuestra Facultad. Igualmente con motivo de celebrarse el centenario del Natalicio de Albert Einstein, se han realizado diversas conferencias en homenaje al destacado científico.

Física teórica en Chile

Los trabajos de investigación que se desarrollan en el Departamento de Física por

el grupo de investigadores teóricos, son originales de nivel internacional, es decir, de interés para la comunidad científica. *No se puede decir, sin embargo* señaló que *estamos a la altura de los países desarrollados, debido a las dificultades de acceso inmediato a los centros más importantes*

de investigación o discusión. En Estados Unidos o en Europa, hay muchos recursos para poder intercambiar ideas, trasladarse de un lugar a otro, etc., lo que aquí es muy difícil. No obstante puntualizó Carlos López *nuestro trabajo no es de segunda categoría, ni mucho menos.*



Ensamble globular en la constelación de Hércules.