LA MEDALLA WIGNER 1998 PARA MARCOS MOSHINSKY

MARCOS MOSHINSKY
Miembro de El Colegio Nacional

Eugene Paul Wigner (1902-1996) fue uno de los más brillantes físicos teóricos del siglo xx. Sus aportaciones se extendieron a casi todos los campos de esta ciencia pero, en particular, al uso de conceptos de simetría para derivar importantísimos resultados en mecánica cuántica y en relatividad, recibiendo por ello, entre muchos otros, el Premio Nobel 1963. A la técnica matemática que se utiliza por estudiar esas simetrías se le conoce con el nombre de Teoría de Grupos.

Hace 25 años, por la importancia de esa técnica, se iniciaron los ciclos de congresos anuales que llevan el nombre de "Teoría de grupos y sus aplicaciones en la física" y que tuvieron lugar en casi todos los puntos del planeta.

Hace varios años por conveniencias de organización, el congreso anual se dividió en dos partes, en los años pares con su nombre anterior y en los nones con el de "Simposio Wigner". Simultáneamente se creó la medalla de oro Wigner que se da cada dos años y que se ha convertido en el reconocimiento internacional más alto para los que trabajan en el campo mencionado.

El 14 de julio de 1998, en el Congreso de Teoría de Grupos y sus Aplicaciones en Hobart, Australia, recibió la medalla Wigner el doctor Marcos Moshinsky. Los anteriores galardonados, además del profesor Wigner que la obtuvo como constancia del honor, fueron V. Bargmann (1978), I. M. Gelfand, (1980), Y. Ne'eman (1982), L. Michel (1984), F. Gursey (1986), I. M. Singer (1988), F. Iachello (1990), J. Wess, B. Zumino(1992), V. Kac y R. V. Moody (1994/1996).

Es costumbre, en estas ceremonias, que alguna de las personas presentes haga un resumen de la labor del galardonado que lo hizo merecedor de la medalla, lo que lleva el nombre "*Laudatio*".

En esta ocasión correspondió al profesor Pavel Winternitz, de la Universidad de Montreal, Canadá, hacer esta presentación, la que aparece a continuación, traducida al español.

LAUDATIO

P. WINTERNITZ
Centre de Recherches Mathématiques
Université de Montréal
C. P. 6128, Succursale Centre-ville
Montréal (Québec)
H3C 3J7
E-mail:wintern@crm.umontreal.ca

Es para míun gran placer y honor el presentar este Laudatio para el profesor Marcos Moshinsky en la ocasión en que le es otorgada la medalla Wigner "por su labor pionera en el uso de teoría de grupos en la física de muchos cuerpos y por promover la ciencia en el mundo entero".

Posiblemente todos los lectores conocen lo bien merecida que es esta medalla. Honra a más de 50 años de excelencia científica y a las muchas contribuciones importantes de Marcos Moshinsky en varias ramas de la física. Particularmente apropiada a la recepción de la medalla Wigner, es el hecho que mucho de su trabajo está unificado por la aplicación sistemática de la teoría de grupos.

Me voy a permitir una pequeña disgresión. Me gustaría describir cómo llegué a conocer las investigaciones de Moshinsky. Yo estudié física en Leningrado (hoy San Petersburgo) en los años 1955-1960 y fui específicamente enviado allí de Checoslovaquia (hoy República Checa) para estudiar física nuclear. Aprendí mucha teoría de grupos, pero quedé con la impresión que la física nuclear teórica era un campo aburrido que consistía en ajustar muchos datos espectroscópicos con modelos fenomenológicos que contenía una multitud de parámetros. La investigación requerida parecía consistir de pesados cálculos numéricos (hechos a mano, ya que en esa época y lugar no había computadoras) y las matemáticas empleadas parecían ser bastante elementales. En 1963 fui a trabajar (y a desarrollar mi tesis doctoral) en el Joint Institute of Nuclear Research en Dubna (entonces en la URSS y hoy de nuevo en Rusia). Mencioné algo de mis impresiones sobre la física nuclear teórica al asesor de mi tesis doctoral Yakov Abramovich Smorodinsky, el cual se rió y me dijo: "¿Por qué no lees los dos trabajos recientes de Bargmann y Moshinsky en *Nuclear Physics* 1960 y 1961?" Su título era "Teoría de grupos de osciladores armónicos I. Los modos colectivos II. Las integrales de movimiento de la interacción cuadrupolo cuadrupolo". Estos dos artículos cambiaron mi punto de vista sobre la física nuclear teórica. Me di cuenta de que era una bella ciencia. De que uno puede hacer muchas cosas en forma exacta y otras aproximadamente pero en forma muy satisfactoria. Que implicaba matemática avanzada, y en particular teoría de grupos, tanto de la variedad continua como de la discreta.

Los dos artículos con Bargmann no fueron ciertamente el principio de la carrera científica de Marcos. La lista de publicaciones contiene 251 de ellas, así como 5 libros.

Los dos artículos sobre teoría de grupos de osciladores armónicos llevan los números 38 y 40. Fueron continuados por 4 artículos más con el mismo título (y diferentes subtítulos) que realizó con Peter Kramer (en 1966, 1968 y 1969). Esta serie de artículos describe una teoría completa de los movimientos colectivos en los núcleos (o en otros sistemas de n-partículas) haciendo uso del grupo básico U (3n) (para n-partículas). Integrales de movimiento se construyen en el álgebra envolvente del álgebra de Lie correspondiente.

Diferentes cadenas de subgrupos se introducen para describir diferentes aspectos de la teoría. Por ejemplo la reducción $U(3n) \supset U(3) \times U(n)$ introduce la simetría U(3) del oscilador armónico de 3 dimensiones.

La reducción posterior $U(3) \supset O(3) \supset O(2)$ introduce el momento angular y su proyección. El grupo unitario U(n) de n partículas se puede reducir usando la cadena canónica $U(n) \supset U(n-1) \supset U(n-2) \supset U(1)$. Cuando se incluye el spin y el isospin y, en general, cuando se enfatiza el principio de Pauli, son más apropiadas otras cadenas de grupos, en particular $U(n) \supset O(n) \supset S_n \supset S_{n-2} \times S_2$, donde S_n es el grupo de permutaciones de n partículas. El uso de cadenas no canónicas se impone para la física de sistemas de multifermiones. Crea sin embargo un problema matemático: una representación dada de U(n) puede contener varias representaciones equivalentes de O(n) como bases de funciones de representaciones irreducibles de U(n), que no están completamente especificadas por la etiqueta asociada con la representación de un subgrupo. Este es el notorio "problema de la etiqueta extraviada" (missing label problem) en la teoría de representaciones de grupos. Para la cadena $U(3) \supset O(3)$ fue resuelto de una manera elegante por medio de los estados de Bargmann-Moshinsky.

Una observación que aprendí de Marcos Moshinsky (aunque no estoy seguro que él la originó) es "Dos tipos de problemas existen en mecánica cuántica: los irresolubles y el oscilador armónico. El objetivo es hacer pasar el problema de una categoría a la otra". Marcos logró este objetivo con gran éxito en muchas ocasiones. Aquí debo mencionar dos series de artículos (con muchos colaboradores); uno de ellos es la invariancia ante traslaciones y la separación del movimiento del centro de masa en el esquema del modelo de capas del núcleo. El otro es la calidad de las aproximaciones en problemas de pocos y muchos cuerpos. En estos últimos los autores empiezan con un modelo soluble y calculan las energías y las funciones de onda exactamente. Después resuelven el mismo problema usando algunas aproximaciones bien establecidas (Hartree-Fock, Born Oppenheimer y otros). Esto hizo posible establecer qué aspectos de las aproximaciones son confiables y en dónde y cuándo las aproximaciones fallan.

El trabajo de Marcos sobre osciladores armónicos y sobre problemas de muchas y pocas partículas está íntimamente relacionado con otras áreas de su actividad científica (y con dos nuevos ciclos de publicaciones):

1. Transformaciones canónicas en mecánica clásica y cuántica.
2. Degeneración "accidental" de niveles de energía en mecánica cuántica.

Las transformaciones canónicas en teorías clásicas implican transformaciones en el espacio fase, y no exclusivamente en el espacio de configuración. Por definición, conservan la estructura de Poisson de la teoría, y en particular los paréntesis de Poisson entre las observables físicas. Implícitamente estuvieron presentes en mecánica cuántica desde su inicio. Por ejemplo, la simetría O(4) del átomo de hidrógeno fue usada por Pauli para calcular el espectro de energía de dicho átomo. Las transformaciones canónicas en mecánica cuántica fueron discutidas bajo ciertas restricciones en el libro clásico de Dirac. El tema de transformaciones canónicas y su representación en mecánica cuántica alcanzó su desarrollo más completo en el trabajo de Moshinsky y sus colaboradores. Mencionaré aquí dos trabajos de 1971, escritos en colaboración con C. Quesne sobre "transformaciones canónicas lineales y sus representaciones unitarias". La restricción natural de que las transformaciones sean lineales, reales e invertibles lleva al grupo simpléctico Sp(2, R). El subgrupo $U(n) \subset Sp(2, R)$ aparece de nuevo, como el grupo de simetría del oscilador armónico. En publicaciones posteriores cada una de las restricciones anteriores se eliminó y con ello se extendieron grandemente las aplicaciones de las transformaciones canónicas. Marcos estudió también las extensiones complejas de las transformaciones canónicas (con P. Kamer y T. Seligman), las transformaciones canónicas no lineales (con P. Mello) y las transformaciones no biyectivas (de nuevo con P. Kramer y T. Seligman).

Una de las aplicaciones de las transformaciones canónicas fue el definir álgebras generadoras de espectros (spectrum generating algebras), que son álgebras de Lie de operadores, no todos los cuales conmutan con el Hamiltoniano. Al contrario, algunos de ellos actúan como operadores de ascenso y descenso de la energía. Se utilizan para calcular espectros, funciones de onda, elementos de matriz y otras aplicaciones físicas.

La otra aplicación de la que quisiera hablar es la que se conoce con el nombre de "degeneración accidental" (el menos apropiado de los títulos). Consideremos una partícula en un potencial central arbitrario $V(r)$ en la ecuación de Schroedinger. La energía no depende del número cuántico magnético m, aunque este último sí aparece en la función de onda. Este es un ejemplo clásico de degeneración de niveles de energía, pero nunca se le consideró "accidental" porque es debido a la simetría geométrica del sistema: invariancia ante el grupo O(3) de rotaciones. Las simetrías geométricas son generadas por álgebras de Lie en términos de operadores diferenciales de primer orden que conmutan con el Hamiltoniano H (ya sea como operadores o con el conjunto de soluciones del sistema).

Consideremos ahora dos casos particulares de potenciales centrales, el átomo de Coulomb $V(r) = (1/r)$ y el oscilador armónico isotrópico $V(r) = r^2$. Los niveles de energía tampoco dependen de número cuántico l del momento angular orbital, de manera que hay una degeneración mayor a la que se le dio el nombre de "accidental".

Para el átomo de hidrógeno la explicación la dieron casi simultáneamente V. Bargmann y V. Fock en términos de una "simetría oculta", la famosa simetría O(4). Para el oscilador armónico la degeneración fue explicada por medio de una simetría U(3). En ambos casos estas simetrías no son puramente geométricas y sus álgebras de Lie se expresan en términos de operadores diferenciales de segundo orden. Los grupos de simetría respectivos son grupos de transformaciones canónicas más que puntuales. Son los únicos potenciales centrales para los cuales todas las trayectorias finitas son cerradas (el tema de Bertrand). Son los únicos potenciales centrales que son maximalmente superintegrables, esto es permiten $2n$-1 integrales de movimiento que son funcionalmente independientes en el espacio fase (más que las sólo n —en involución— que se requieren para una integración completa). Son los únicos dos que tienen grupos de simetría "ocultos", o sea grupos de simetría de transformaciones canónicas.

Una vez que se abandona el requerimiento de que los problemas tengan simetría rotacional, aparecen muchos otros sistemas con grupos de simetría en términos de transformaciones canónicas.

Marcos empezó un estudio sistemático de estos sistemas en 1973, primero con J. Louck y K. B. Wolf y luego con muchos otros colaboradores. El primer sistema que se discutió fue el del oscilador armónico anisotrópico con una relación racional entre sus frecuencias, posteriormente el caso del oscilador armónico isotrópico restringido a un sector del espacio de configuración (donde las condiciones a la frontera eliminan la simetría esférica), luego el modelo Calogero y muchos otros.

En 20 minutos no puedo hacer una presentación justa del trabajo de Marcos. Un análisis muy completo de su labor hasta 1991 fue publicado por J. Flores, A. Frank y T. H. Seligman en la ocasión del 70 aniversario de Marcos que coincidió con los 50 años del inicio de su carrera científica.

Su trabajo inicial surgió de su tesis doctoral bajo la dirección del profesor Eugene P. Wigner en 1949 en Princeton. El título de su tesis fue "'Interacciones relativistas por medio de condiciones a la frontera". Este campo de investigación sigue estando activo. En particular, Marcos introdujo una función dependiente del tiempo en el espacio de configuración para describir la evolución en el tiempo de reacciones binarias y para comprender mejor la relación de incertidumbre tiempo-energía. Esta función se conoce hoy en día como la "función de Moshinsky", aunque Marcos la llamó la "función básica de interacción". En relación a este punto, Marcos escribió en 1952 el artículo "Difracción en el tiempo". El fenómeno que predijo fue observado 44 años después y reportado en 1996 en *Phys. Rev. Lett.* en un artículo experimental intitulado "Difracción e interferencia de ondas atómicas usando rejillas temporales". Los autores dan crédito a Marcos de ser el primero en predecir el fenómeno.

La primera contribución importante de Marcos a la física nuclear es anterior a sus famosos artículos con Bargmann. Incluyen el cálculo, tanto en elegantes fórmulas analíticas como en tablas de las matrices de transformación entre funciones de onda de dos partículas en diferentes bases. Las matrices de transformación (tabuladas en 1960 con T. Brody en el primer libro de Marcos) se conocen hoy como los paréntesis de Moshinsky (Moshinsky brackets) y en forma abreviada como "Brashinskets".

En los 80 y 90 Marcos trabajó sobre modelos colectivos del núcleo, primero en el de Bohr y Mottelson y después en el modelo de Bosones Interactuantes (IBM) de Iachello y Arima. En ambos casos Marcos y sus colaboradores hicieron uso de la teoría de grupos subyacente, que incluyen de nuevo cadenas de grupos no canónicas como $U(5) \supset O(5) \supset O(3)$, $U(6) \supset O(6) \supset O(5) \supset O(3)$, $U(6) \supset U(3)$ y $Sp(6n) \supset Sp(6) \times O(n)$. En cada caso Moshinsky pudo calcular explícitamente las funciones de onda y resolver el problema de la etiqueta extraviada (missing label problem). Uno de los éxitos importantes en estos trabajos fue que Marcos pudo establecer una relación entre el modelo de Bohr-Mottelson y el reciente IBM.

En otro trabajo fundamental de Marcos (en 1980) determinó la representación de las transformaciones canónicas clásicas en el espacio fase de las distribuciones de Wigner. Este resultado es muy usado actualmente en óptica ondulatoria paraxial y en otras aplicaciones.

Las publicaciones más recientes de Marcos, hasta el año en curso, con nuevos desarrollos de su trabajo en modelos nucleares, aplicaciones del oscilador armónico, transformaciones canónicas y degeneración accidental. Además, aparecen nuevos aspectos importantes. Entre ellos está el estudio del comportamiento de la materia en campos magnéticos muy intensos, en particular la estabilidad del deuteron y de otros núcleos en dichos campos. También se desarrolló la aplicación del oscilador armónico a las interacciones entre quarks y más generalmente a las partículas elementales, lo cual requiere un tratamiento relativista. Marcos desarrolló este último punto en una serie de artículos sobre el oscilador de Dirac, resumiendo los resultados en los tres últimos capítulos de su más reciente, y quinto libro, *The harmonic oscillator in modern physics* donde su coautor fue Yu. F. Smirnov.

Muchas de las áreas de la actividad científica de Marcos no han sido mencionadas en esta reseña (incluyendo algunas en que tuve el placer de participar con él). Me gustaría sin embargo mencionar brevemente algunos aspectos generales de su trabajo.

Empezó haciendo investigaciones de gran calidad en 1947 y continúa haciéndolas hasta el presente. Su productividad, medida por sus publicaciones, va en aumento (37 publicaciones hasta 1959, 44 en los sesentas, 44 en los setentas, 60 en los ochentas y de nuevo 60 en los aún no concluidos noventas).

Sus contribuciones científicas siempre fueron y siguen siendo modernas. Participó, por ejemplo en el reciente auge de los grupos cuánticos.

Su trabajo sobre transformaciones canónicas ha adquirido una nueva relevancia en relación con el renovado interés en los sistemas completamente integrables tanto en su versión de dimensión finita como en la infinita.

Sus estudiantes, becarios postdoctorales y colaboradores de todas las edades, siguen estando muy relacionados con sus investigaciones. Reciben un excelente tratamiento tanto científico como humano. Su generosidad científica y personal es legendaria.

Ha estado siempre muy activamente involucrado en la organización, propagación y popularización de la ciencia. Me gustaría agregar aquí una pequeña anécdota. En 1974, Marcos me invitó cordialmente a trabajar en México durante dos meses, después de los cuales visité Acapulco con mi mujer. En la playa nos hicimos amigos de una pareja mexicana (que no eran científicos). Mencioné el nombre de Marcos y uno de ellos me preguntó "¿Es este Moshinsky pariente del famoso periodista M. Moshinsky que publica artículos sobre temas científicos y sociales en *Excélsior*? Era innecesario decir que sólo hay un Marcos Moshinsky. El científico y el periodista eran la misma persona.

Marcos ha contribuido mucho al mundo de la ciencia, el campo en que todos trabajamos. Lo que me impresiona más y que considero su mayor logro es que es una de las pocas personas en el mundo que han contribuido a lograr una diferencia real en la ciencia de su país. Antes de que Marcos apareciera en la escena virtualmente no había física teórica en México. Hoy en día hay una distinguida y moderna comunidad de física centrada en México, D. F., Cuernavaca, Ensenada y varios otros lugares, consistente en gran parte de ex estudiantes de Marcos, de sus estudiantes y de científicos de muchos países atraídos a México por Marcos y sus colaboradores. Su influencia directa se siente en toda Latinoamérica, y el impacto de su ciencia se reconoce en todos lados.

Puedo pensar sólo en algunos ejemplos donde la creación de una escuela moderna de física en un país se puede atribuir a una sola persona. La persona requiere el talento científico necesario pero también la correcta personalidad para crear una escuela. Esto implica dedicar tiempo y atención a los estudiantes, atraer a colaboradores e influir a las autoridades, generar ideas para que muchos puedan trabajar y, en general, crear una fructífera atmósfera científica y humana.

Ejemplos de lo anterior que me vienen a la mente son E. Fermi en Italia, L. Infeld en Polonia y M. Moshinsky en México.

Marcos ha recibido muchos premios científicos y es miembro de muchas Academias de Ciencias.

La medalla Wigner es una adición muy adecuada. Se da por la décima vez al decimotercer recipiente. Las primeras dos medallas (en 1978) se dieron a E. P. Wigner y V. Bargmann. Marcos fue un estudiante del primero y un colaborador del segundo.

Felicitaciones, Marcos, y todos esperamos oír de tus nuevas investigaciones en esta y en futuras conferencias.