

Marcos Moshinsky

SIMETRÍA  
EN LA NATURALEZA  
DISCURSO DE INGRESO

PRESENTACIÓN

Manuel Sandoval Vallarta



SIMETRÍA  
EN LA NATURALEZA

---





Dr. Marcos Moshinsky  
(1921-2009)

Marcos Moshinsky

SIMETRÍA  
EN LA NATURALEZA  
(10 DE OCTUBRE DE 1972)

PRESENTACIÓN  
Manuel Sandoval Vallarta



Coordinación editorial: Rosa Campos de la Rosa

Primera edición: 2013

D. R. © 2013. EL COLEGIO NACIONAL

Luis González Obregón núm. 23

Centro Histórico, C. P. 06020, México, D. F.

Teléfonos: 5789.4330 • 5702.1878 Fax: 5702.1779

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

Correo electrónico: [contacto@colegionacional.org.mx](mailto:contacto@colegionacional.org.mx)

[colnal@mx.inter.net](mailto:colnal@mx.inter.net)

Página: <http://www.colegionacional.org.mx>

PRESENTACIÓN  
POR EL SEÑOR MANUEL SANDOVAL VALLARTA





**E**s un alto honor para mí presentar a un nuevo miembro del Colegio Nacional en la oportunidad de su primera conferencia

sobre el tema de simetrías en la naturaleza, en el que ha adquirido con justa razón grande reputación.

Moshinsky realizó sus estudios del doctorado en física con el profesor Eugene Wigner en la Universidad de Princeton, laureado con el premio nobel y uno de los grandes físicos contemporáneos. Todas las muy importantes investigaciones de Moshinsky dan testimonio de la profunda influencia de Wigner en la formación científica de Moshinsky. Su aplicación de la teoría matemática de los grupos a los problemas de estructura nuclear le han dado fama universal, al proporcionar una nueva línea de ataque a problemas de grande complejidad que apenas pueden ser abordados por otros métodos. La teoría de los grupos es el camino más natural para estudiar las simetrías de los sistemas mo-

leculares, atómicos y nucleares, y a su relativa sencillez intrínseca debe atribuirse su profundidad, su fuerza y su éxito.

Moshinsky ha sabido fundar, en nuestro país y fuera de él, una escuela de físicos teóricos que ya cuenta con numerosos miembros. Gracias a él contamos ya en México con una docena de físicos de categoría internacional que presentan resultados de investigaciones en los grandes congresos, publican sus trabajos en revistas científicas de alta categoría, merecen reseñas y comentarios favorables de sus colegas de la misma especialidad, que a su vez aparecen en otras revistas de categoría internacional dedicadas a la crítica y a la evaluación. Gracias a Moshinsky la investigación científica sobre temas importantes de física teórica realizados en nuestro país han conquistado un lugar en la gran física internacional.

Al abrir sus cátedras a la de Moshinsky, El Colegio Nacional, dentro de sus grandes tradiciones, contribuye a difundir la cultura científica en el ambiente mexicano. Porque hay que subrayar siempre que la ciencia en todas sus manifestaciones forma parte integral de la cultura. No es posible en nuestra época que el humanista que ignora la ciencia tenga una concepción adecuada del mundo en que vive, así como

presenta una personalidad lastimosamente mutilada el hombre de ciencia que desprecia los aspectos humanos de la actividad intelectual.

Septiembre de 1973.



SIMETRÍA  
EN LA NATURALEZA

*A Elena, In Memoriam*



**E**l tema de mi primer curso en El Colegio Nacional es el de Simetría en la naturaleza. Lo escogí, porque en los últimos diez años de mi actividad científica he estado interesado en problemas de física asociados con este tema y, más específicamente, con la rama de las matemáticas que describe a la simetría y que se denomina teoría de grupos.

En esta conferencia inaugural quisiera presentar algunos puntos de vista de carácter muy general sobre los problemas de simetría que se presentan en la naturaleza, reservando para el resto del curso la discusión de aspectos más específicos.

El papel que la simetría juega en la naturaleza puede ilustrarse a través de una analogía tomada de las artes plásticas. Cuando hace tiempo solicité al maestro Siqueiros algún material que ilustrara la idea, me proporcionó las transparencias de "La Nueva Democracia", que se encuentra en el Palacio de las Bellas Artes, así como los bocetos que precedieron a esta pintura.

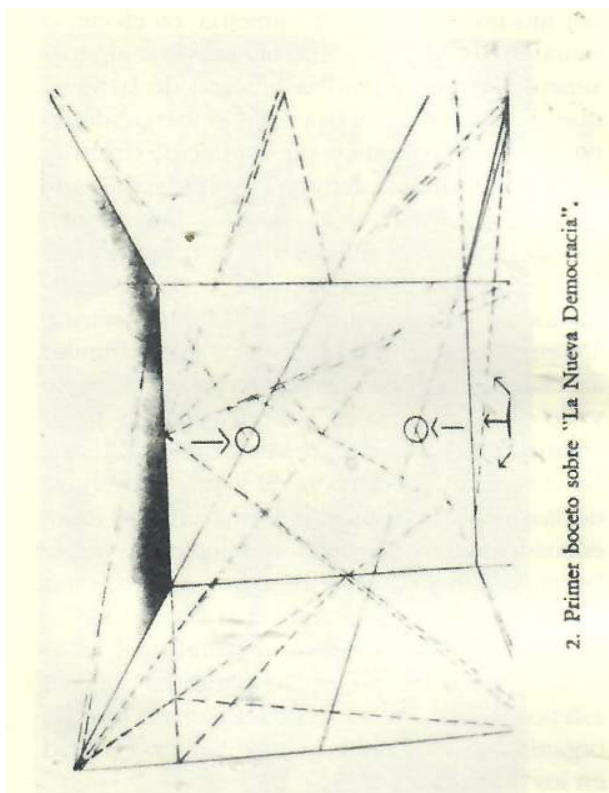


I. "La Nueva Democracia", mural del maestro Siqueiros.

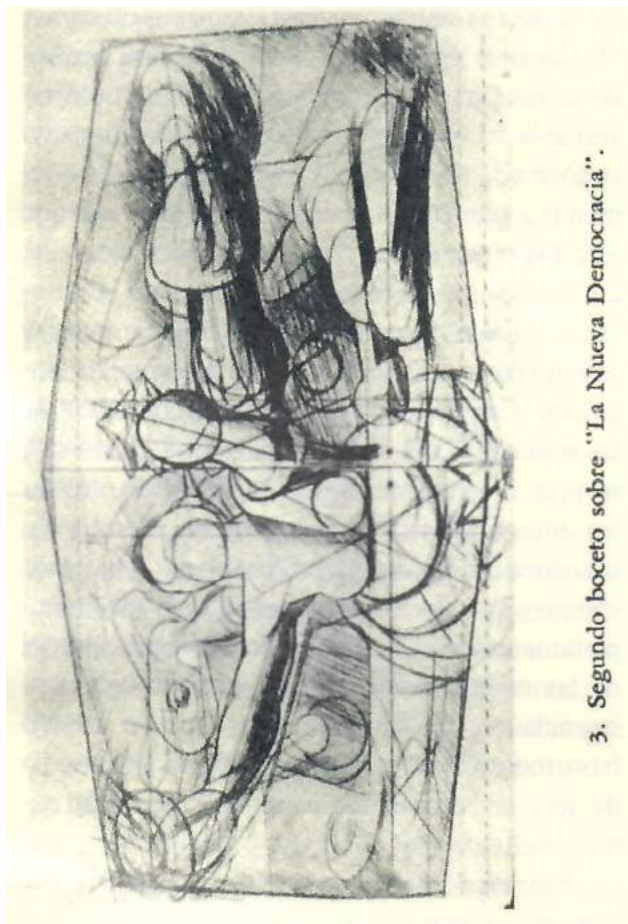


A simple vista, esta obra no parece contener muchos elementos de simetría; en efecto, el mural final (fig. 1) no presenta más que algunas simetrías obvias, como la bilateral de la figura que se lanza hacia delante. Sin embargo, detrás de esta obra aparentemente carente de simetrías existe toda una estructura organizada, como se pone de manifiesto en los bocetos. En el primero de ellos (fig. 2) se indica la distribución que hace el pintor del espacio que tiene a su disposición y su estructura totalmente geométrica. Tenemos una serie de triángulos y rectángulos asociados con diferentes planos de composición y de círculos que nos indican aspectos particularmente importantes del desarrollo posterior. En el siguiente boceto (fig. 3) vemos un esbozo de las figuras finales y la forma en que están encuadradas en las divisiones indicadas en el boceto anterior. La simetría que muestran estas figuras es mucho más elaborada que la que se observa explícitamente en el mural final, pero no cabe duda de que buena parte del impacto estético de la pintura está relacionada con la organización y simetría que se ve con claridad en los bocetos.

En base a esta ilustración me atrevo a establecer la siguiente analogía; la naturaleza es como una pintura terminada; podemos obser-



2. Primer boceto sobre "La Nueva Democracia".



3. Segundo boceto sobre "La Nueva Democracia".

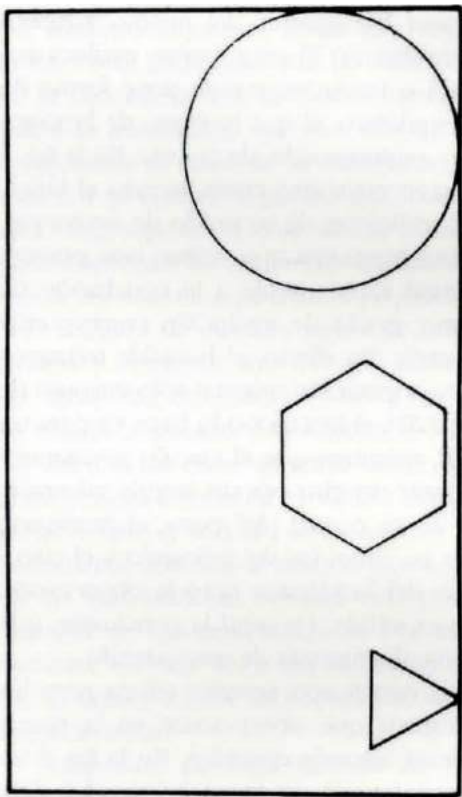
var en ella simetrías obvias, pero generalmente, como ocurre con la simetría bilateral del mural del maestro Siqueiros, éstas son superficiales. Mucho más profundas son las simetrías ocultas de la naturaleza que indudablemente contribuyen a la admiración que nos inspira. Como no conocemos al autor de la naturaleza, no podemos ir a su estudio y pedirle los bocetos en que está bosquejando el plan de su obra. Por ello, para encontrar las simetrías ocultas de la naturaleza necesitamos estudiarla profundamente, y sólo a través de muchos siglos de esfuerzo empezamos a percibir aquéllas que están detrás de las maravillas del mundo físico y biológico que se brinda a nuestro conocimiento. Para ilustrar las diferencias entre simetría obvia o trivial en la naturaleza y simetría profunda, nada hay más efectivo que el uso del lenguaje que más completamente describe al mundo que nos rodea, el de las matemáticas. Pero en esta primera conferencia no quisiera utilizarlo. Por ello intento basarme en una serie de analogías por medio de las cuales trataré de comunicar mi visión sobre este tema.

Empezaré por una historia de ciencia ficción para niños que me parece que ilustra con profundidad insospechada la importancia de la simetría en la organización de la naturaleza. En

esta historia seres humanos visitan un planeta de otro sistema solar y encuentran que los entes biológicos inteligentes del mismo adoptan formas geométricas. El ente menos evolucionado biológica e intelectualmente tiene forma de triángulo equilátero, el que le sigue, de hexágono y el más evolucionado, de círculo. En la fig. 4 se representan estos tres entes, siendo el tamaño relativo indicativo de su grado de evolución.

Los seres humanos que visiten este planeta podrían llegar rápidamente a la conclusión de que a mayor grado de evolución corresponde mayor simetría. En efecto, el humilde triángulo regresa a su orientación original sólo después de un giro de  $120^\circ$ , el hexágono lo hace ya para un giro de  $60^\circ$ , mientras que el círculo permanece invariante ante un giro por un ángulo arbitrario alrededor de su centro. Así pues, el hexágono tiene todas las simetrías del triángulo y el círculo todas las del hexágono, pero la observación inversa no es válida. De aquí la conclusión que se menciona al principio de este párrafo.

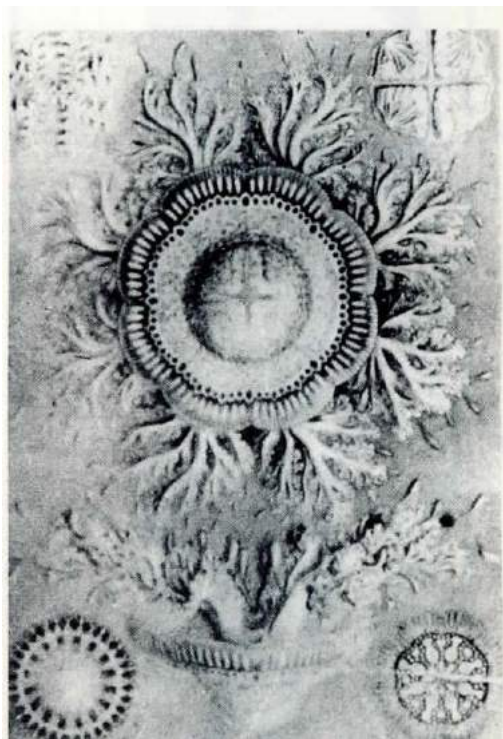
¿Sería la conclusión anterior válida para los entes biológicos que observamos en la tierra? Consideremos algunos ejemplos. En la fig. 5 tenemos la estatua de un joven griego del siglo V antes de nuestra era. ¿Qué simetría presenta? La única que observamos sería la bilateral de



4. Entes geométricos de otro planeta según una historia de ciencia ficción.



5 Estatua de un joven griego del siglo v A. C.



6. Simetrías de la Medusa



reflexión con respecto a un plano vertical que pasa por el eje central de la figura. Consideremos ahora el animal marino conocido como medusa (fig. 6). Vista desde arriba, la medusa tiene mucha mayor simetría que el ser humano. Para empezar, admite un plano de reflexión no sólo vertical sino también horizontal e inclusive (si se hace caso omiso de las líneas centrales a  $45^\circ$ ). Además, la medusa se transforma en sí misma por giros de  $45^\circ$ .

Si los habitantes del planeta hipotético que he mencionado hicieran una visita a la Tierra y utilizaran su propia experiencia, llegarían a la conclusión de que la medusa es un ente biológico mucho más evolucionado que el hombre, al tener mucha mayor simetría. Los seres humanos, desde luego, rebatirían esta conclusión, quizás alegando que simetría y evolución son conceptos independientes. A mí me gustaría proponer el razonamiento siguiente: la mayor evolución biológica e intelectual ciertamente no está relacionada con la mayor simetría de tipo obvio como la de las reflexiones y rotaciones mencionadas, pero posiblemente sí tenga que ver con una mayor simetría del tipo que llamaré oculto.

Volveré sobre este punto al final de la conferencia, pero quisiera ilustrar ahora lo que en-

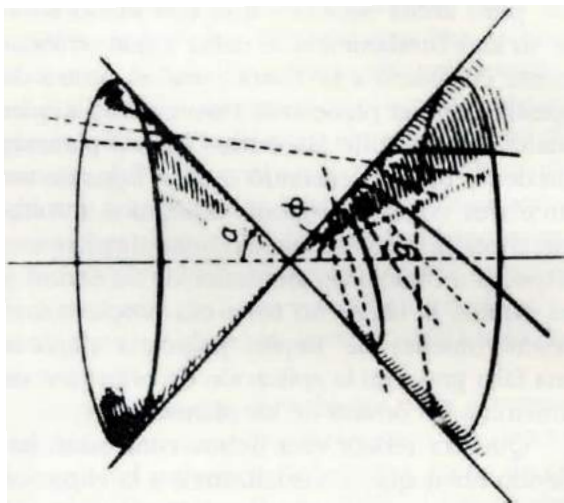
tiendo por simetrías ocultas, tomando algunos ejemplos de la física. Discutiremos tres aspectos de esta ciencia. El primero está relacionado con el desarrollo astronómico ocurrido entre el siglo v a. C. y el siglo xvii; el segundo, con el concepto del tiempo tal como se concebía en el siglo xvii y la evolución que sufrió al relacionarse con el espacio en los trabajos fundamentales de Einstein en 1905; el tercero, con la relación entre inversión de carga y reflexión en el espacio tal como se aclaró en la década de los 50 de nuestro siglo.

Empecemos con el problema de la astronomía. Tanto en el sistema ptolemaico, en donde el centro del universo era la Tierra, como en el copernicano, en que lo era el Sol, el círculo era la base de todas las órbitas de cuerpos celestes. ¿Por qué el círculo? La razón es obvia, por su alta simetría, según mencionamos en relación con nuestra historieta. Inclusive, si pasamos del plano sobre el que se traza el círculo al espacio, tenemos la esfera como su equivalente, y ya en la época de Pitágoras se hablaba de los movimientos de los planetas como la música de las esferas.

La observación astronómica obligó a Ptolomeo a sobreponer a sus círculos ciclos y epiciclos, todos también formados a partir de círcu-

los, pero ahora sabemos que esta elaboración de su idea fundamental se debía a que erróneamente consideró a la Tierra como el centro de nuestro sistema planetario. Pero cuando Kepler analizó con detalle las órbitas de los planetas alrededor del Sol, encontró que en lugar de ser circulares, como lo proponía Copérnico, resultaron elípticas. Como el círculo tiene simetría con respecto a rotaciones alrededor de su centro y en cambio la elipse no tiene esa propiedad, el descubrimiento de Kepler parecería implicar una falla grave en la aplicación de principios de simetría a las órbitas de los planetas.

Quisiera rebatir esta última conclusión haciendo notar que, si visualizamos a la elipse en el espacio y no en el plano, descubrimos en ella simetrías ocultas tan importantes como las del propio círculo. Para esto basta recordar que los mismos griegos habían encontrado una serie de curvas que denominaron secciones cónicas y que se obtienen cuando se interseca un cono con un plano, tal como se observa en la fig. 7. Según la inclinación del plano respecto al eje del cono se pueden obtener círculos, elipses, parábolas o hipérbolas. Las transformaciones que llevan a estas curvas en sí mismas son un subconjunto del grupo de transformaciones que deja al cono invariante. En un cierto sentido se



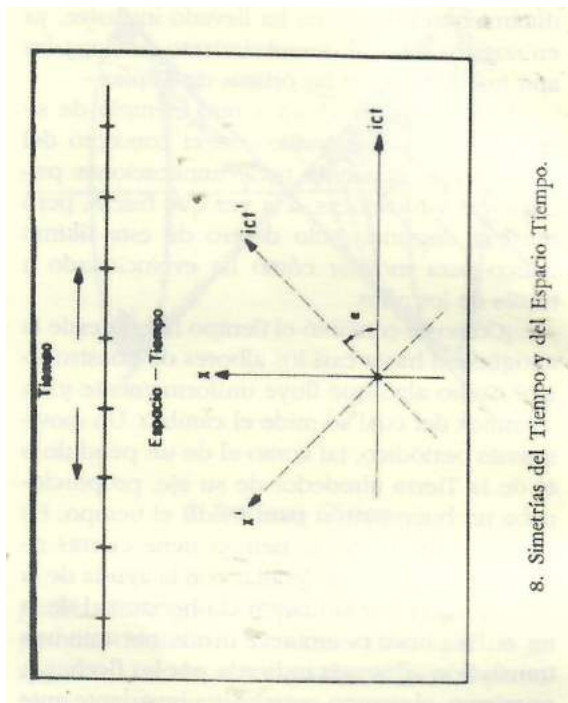
## 7. Secciones Cónicas.

podría decir que la elipse, la parábola y la hipérbola tienen una simetría oculta que no es aparente cuando se les ve dibujadas en el plano, pero que en cambio salta a la vista cuando se las concibe en el espacio como secciones cónicas. De aquí que podamos decir que el descubrimiento de Kepler no implica una falta de

simetría en la órbita de los planetas, sino simplemente que ésta es más profunda. El análisis dinámico del problema ha llevado inclusive, ya en nuestro siglo, al descubrimiento de simetrías aún más ocultas en las órbitas de Kepler.

Quisiera pasar ahora a otro ejemplo de simetría oculta relacionado con el concepto del tiempo. Este concepto tiene implicaciones psicológicas y filosóficas, a la vez que físicas, pero quisiera discutirlo sólo dentro de este último marco para mostrar cómo ha evolucionado a través de los años.

¿Cómo se concibió el tiempo físico desde la antigüedad hasta casi los albores de nuestro siglo? Como algo que fluye uniformemente y en términos del cual se mide el cambio. Un movimiento periódico, tal como el de un péndulo o el de la Tierra alrededor de su eje, proporcionaba un buen patrón para medir el tiempo. En este fluir uniforme, el tiempo tiene ciertas simetrías que quisiera detallar con la ayuda de la imagen dada por la línea recta horizontal de la fig. 8. Esta línea permanece invariante ante una translación arbitraria indicada por las flechas y, asimismo, el tiempo permanece invariante ante translaciones. En otras palabras, el tiempo es como un río recto de sección constante donde el agua fluye uniformemente y por lo tanto se



8. Simetrías del Tiempo y del Espacio Tiempo.

ve igual desde cualquier punto de la ribera, y no es un torrente que en algunos lugares es plácido y en otros se cubre con la espuma de los rápidos.

Pero la línea recta de nuestra imagen tiene otra simetría, que a primera vista no parece aplicable al tiempo: permanece invariante si se hace una reflexión en cualquier punto. Por extraño que parezca, el tiempo físico también tiene esta propiedad de invariancia frente a reflexiones. Como ejemplo de ello, si tomamos una película del movimiento de un péndulo, no podríamos distinguir cuándo corremos la película en su sentido original o en el inverso. No sucede desde luego lo mismo cuando tomamos una película sobre la vida de un hombre, pero en este caso intervienen otros conceptos que no sería oportuno discutir aquí.

La invariancia del tiempo frente a translaciones y reflexiones y su completa independencia del espacio, formaba parte de las propiedades del marco espacio-temporal que el físico utilizó en forma implícita desde la época de Galileo y Newton hasta el principio del siglo XX. Pero en 1905 Einstein encontró una simetría oculta en este marco espacio-temporal que nadie había visualizado antes. Para comprender la esencia de su idea reduzcamos nuestro espacio físico

de tres dimensiones a una sola. En ese caso podríamos representar al tiempo en la fig. 8 como una línea horizontal y al espacio como una línea vertical. Este espacio tiene simetrías idénticas a las del tiempo, o sea invariancia con respecto a translaciones y reflexiones. Estas serían las únicas simetrías si el espacio y el tiempo fueran considerados como conceptos independientes. Pero si se consideran como coordenadas de un plano, tal como aparecen en la fig. 8, entonces también hay posibilidades de rotaciones en el espacio-tiempo y esto introduce un nuevo tipo de simetría ligado a lo que se conoce como transformaciones de Lorentz.

El descubrimiento por Einstein de esta simetría oculta del espacio-tiempo tuvo enormes consecuencias para el desarrollo de la física. Una de ellas fue la obtención de la relación entre masa  $m$  y energía  $E$  dada por  $E = mc^2$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz. Esta relación, quizás la más conocida de la física, está detrás de todas las posibilidades que ofrece, ya sea para bien o para mal, la energía nuclear.

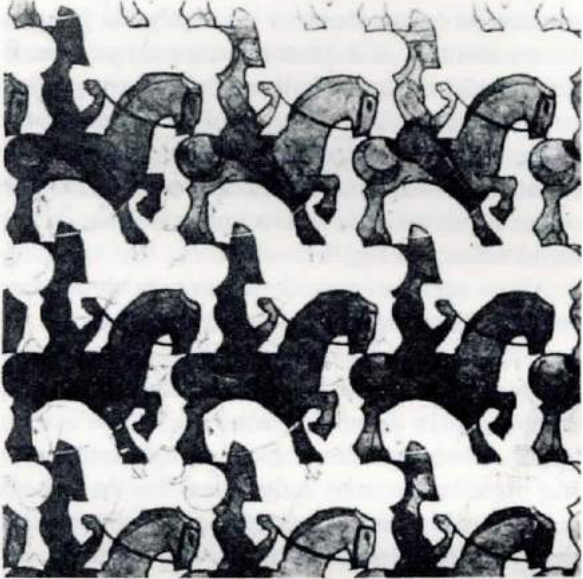
Para discutir finalmente el tercer ejemplo de descubrimiento de una simetría oculta en la física, recurriré una vez más a la analogía con la pintura. En esta ocasión el cuadro es uno del pintor holandés Escher, que se reproduce en la



fig. 9. En este cuadro se observan hombres a caballo en blanco y negro exactamente iguales, pero orientados en dirección opuesta. Si la pintura se coloca frente a un espejo, la imagen no es idéntica a la pintura original, ya que la orientación de los caballeros blancos y negros se invierte, como se ve en la fig. 10. Pero si en la fig. 10 también invirtiéramos el color de los caballeros, es decir, si cambiáramos blanco por negro y viceversa, la nueva imagen obtenida sería idéntica a la fig. 9.

Esta característica de la pintura de Escher es particularmente interesante, porque existe un problema de física relacionado con la desintegración de los núcleos atómicos con emisión de electrones (la desintegración beta en el que se aplica. Las leyes que gobiernan este fenómeno son invariantes ante reflexiones en un espejo sólo cuando estas reflexiones van acompañadas de un cambio en el signo de la carga de las partículas involucradas. Esta simetría oculta fue descubierta en 1957 por los físicos norteamericanos de origen chino Lee y Yang.

Los tres ejemplos tomados de la física nos indican que los fenómenos que se presentan en esta ciencia tienen, además de simetrías obvias, otras ocultas que ha tomado siglos desentrañar. Me gustaría pensar que esta observación



9. Pintura de Escher de hombres a caballo en blanco y negro.

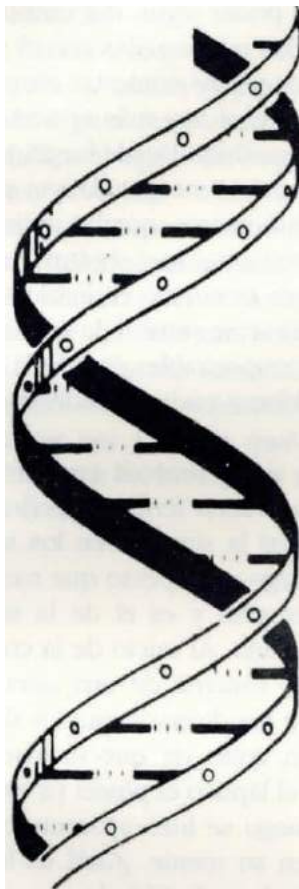


10. Reflexión en un espejo  
de la pintura de Escher.

es aplicable a otras ciencias y en particular a la biología, y de que nos permitiría volver a la pregunta de si la mayor evolución de los seres vivos está relacionada con una mayor simetría, aunque ésta sea probablemente del tipo que llamamos oculto.

Si queremos preguntarnos, por ejemplo, si el hombre tiene una simetría oculta mayor que la medusa, no debemos ciertamente guiarnos por el aspecto externo obvio que discutimos anteriormente. Más bien deberíamos concentrarnos en el transmisor básico de la herencia, la molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN) en los cromosomas de esos dos entes. La forma de dicha molécula se ilustra en la fig. 11 y desde luego tiene una simetría obvia asociada con lo que se llama un eje de tornillo; una rotación que va acompañada de una translación. Pero se trata claramente de una simetría superficial que además es común a todos los seres vivos, ya que sus moléculas de ADN siempre presentan la estructura de doble espiral.

Mucho más significativo es el hecho de que estas moléculas proporcionan su información en una secuencia temporal y de que por ello sus simetrías deberían describirse dentro de un marco espacio-temporal. Más aún posiblemente este marco debería ampliarse para incluir mu-



11. La doble hélice de la molécula de ácido desoxirribonucleico.

chas otras variables cuyas características ignoramos al presente. De poder algún día encontrar las simetrías profundas relacionadas con el proceso vital, podríamos quizás contestar afirmativamente la pregunta de si hay más simetría en el hombre que en la medusa. Desde luego, todo lo dicho en este párrafo es especulativo, pero tiene aspectos tan fascinantes, que he indicado a algunos de mis estudiantes que si estuviera en el inicio de mi carrera científica, el problema al que me gustaría dedicarme sería el de encontrar las simetrías ocultas responsables de la vida. Posiblemente este problema pudiera resolverse en lo que falta del siglo.

Hemos hablado de la simetría en la materia inerte al analizar varios fenómenos físicos; también consideramos la simetría en los seres vivos. Hay sin embargo un aspecto que me parece aún más interesante y es el de la simetría en la mente humana. Al inicio de la conferencia analizamos la simetría de una obra del maestro Siqueiros en los diversos estados de su evolución. Pero aun antes de que el maestro Siqueiros levantara el lápiz o el pincel ya estaba la simetría -que luego se hizo aparente en el mural- presente en su mente. ¿Cuál es la simetría profunda que hace factible la operación de la mente humana, sobre todo cuando esto

ocurre al nivel más alto posible en el proceso de creación?

Estamos muy lejos de poder contestar esa pregunta y quizás el problema todavía no está maduro para ser sometido a una investigación científica. Si algún día llegáramos a comprender la más profunda de las simetrías, la que se encuentra en la mente humana, podríamos quizás comprender plenamente a la vez su estructura y la del mundo físico y biológico que esnidiamos con su ayuda. Más aún, como en su sentido más amplio la simetría también es armonía, quizás un estudio más profundo de ella nos ayude a alcanzar esa armonía que tanta falta hace actualmente a los hombres y a las sociedades que han creado.





## ÍNDICE

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| Presentación,                         |    |
| por el señor Manuel Sandoval Vallarta | 7  |
| Simetría en la Naturaleza             | 13 |



Se terminó de imprimir el 30 de agosto de 2013 en los talleres de Impresos Chávez de la Cruz, S. A. de C. V., Valdivia 31, Col. Ma. del Carmen, C. P. 03540, México, D. F. Tel. 5539 5108. En su composición se usó el tipo Garamond de 10.5:12.5, 9.5:12.5 y 8.5:10.5 puntos. La edición consta de 1000 ejemplares. Captura de textos: María Elena Pablo Jaimes; composición: Laura Eugenia Chávez Doria. Editor: Hildebrando Jaimes Acuña.