

## Juego limpio o trampas químicas

**Margarita I. Bernal Uruchurtu**  
 Centro de Investigaciones Químicas  
 Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

El día de ayer, 25 de febrero, concluyeron los Juegos Olímpicos de Invierno que se celebraron en Pyeongchang en Corea del Sur. Durante las últimas semanas millones de personas en el mundo han seguido con emoción las competencias en las que los dos mil 925 atletas participantes han mostrado habilidades físicas que les permiten desarrollar grandes velocidades o resistencia en carreras que ocurren en condiciones difíciles. Sin duda, deportes en las que los competidores deben realizar piruetas mientras se desplazan a muy altas velocidades, sobre esquís o sobre pequeños trineos con aerodinámica de bala, requiere de un físico y entrenamiento fuerte. El patinaje artístico individual o de parejas no ha mostrado a atletas con agilidad y equilibrio sorprendente. Para el común de nosotros que no hemos practicado nunca este tipo de deportes resulta difícil imaginar qué es lo que distingue a los mejores atletas en estas disciplinas. Al llegar a Corea del Sur todos ellos habían entrenado intensamente para lograr un lugar en este evento.

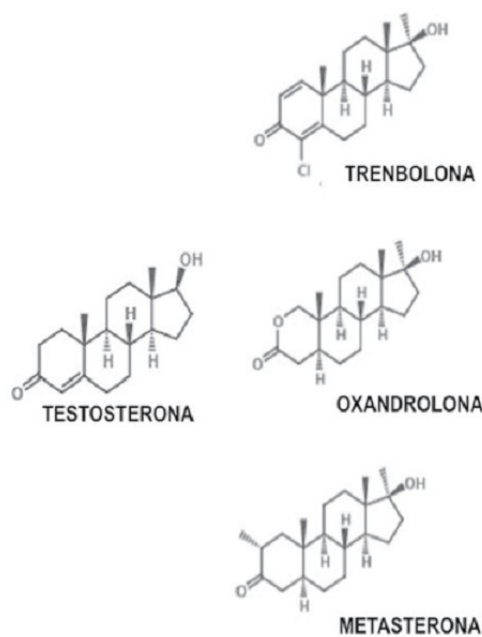
Como varios atletas lo han destacado, en estas competencias todos son talentosos; todos entrenan duro, todos se esfuerzan. ¿Por qué algunos ganan oro y otros no? En la opinión de los especialistas esto es debido al factor mental. Algunos nacen con tendencia a ganar y otros se vuelven mejores al entrenar su cerebro. Cada uno de ellos busca tener una ventaja sobre sus competidores. Sin embargo algunos atletas, además de su entrenamiento físico y mental, han recibido sustancias que les otorgan algunas ventajas a la hora de la competencia. Por ello, las competencias de las últimas décadas han estado marcadas por escándalos de dopaje, lo cual aún antes de demostrarse, empaña la aspiración de limpieza de cualquier competencia.<sup>[1]</sup>

El dopaje, como se le conoce al consumo de sustancias estimulantes o excitantes que se sabe tienen efecto sobre el rendimiento, es una estrategia prohibida, penada y aún así, intentada por algunos atletas y/o sus entrenadores. De hecho, el último escándalo de dopaje llevó al Comité Olímpico Internacional a prohibir la participación de 47 atletas rusos y sus entrenadores en esta Olimpiada. Como quizá ustedes

se dieron cuenta, 169 atletas rusos recibieron una dispensa especial para competir como – atletas olímpicos– (es decir bajo la bandera olímpica y no la rusa) debido a que ellos fueron capaces de demostrar ante un comité especial que estaban limpios. Existía la posibilidad de permitirles desfilar como delegación rusa en la ceremonia de clausura si no se identificaban casos de dopaje entre ellos. Sin embargo, dos casos individuales aparecieron y, aunque diferentes a los que ocurrieron sistemáticamente en 2014, durante los juegos de invierno en Sochi, fueron suficientes para negarles la posibilidad de aparecer como equipo ruso en 2018.

actitud mental.

En los juegos de la era moderna el dopaje se consideró durante mucho tiempo una cuestión meramente de moral personal. Ni la muerte de un ciclista en los juegos en Roma en 1960 movió al Comité Olímpico a actuar. Fue hasta 1988 que se firmó la Ley Contra el Abuso de las Drogas y a partir de ella, el dopaje dejó de ser un asunto de moral para convertirse en un asunto legal. Nueve años después se creó la Agencia Mundial Anti-Dopaje [2] (WADA, por sus siglas en inglés) que busca armonizar los criterios y metodologías contra el dopaje en todos los países y en todos los deportes. Esta organización investiga, discute y hace pública



**Figura 1.** La testosterona es una hormona sexual masculina y las tres moléculas a la derecha son derivados sintéticos de ella. Debido a su estructura química similar tienen funciones químicas parecidas. Son solubles en alcohol y algunos entrenadores los dieron a los atletas como enjuague bucal. La cantidad absorbida rápidamente en la mucosa bucal es suficiente para tener efectos sobre el desempeño atlético.

**¿Qué es lo que está prohibido por qué?**

Los juegos olímpicos de la antigüedad únicamente prohibían arreglar los resultados de una competencia sobornando al contrincante. Los atletas griegos tenían permitido consumir una variedad de sustancias que mejoraban su desempeño, como testículos de animales, corazones, pociones herbales y algunas alucinógenas. No contamos actualmente con evidencia del efecto de estos pero, sin duda alguna, influía al menos sobre su

la lista de sustancias prohibidas para los atletas. Para que una sustancia sea prohibida dos de las siguientes tres condiciones deben cumplirse:

La sustancia o el método tiene el potencial de mejorar o mejorar el desempeño deportivo.

La sustancia o el método es un riesgo potencial para la salud del atleta.

La WADA ha determinado que el consumo de esa sustancia o método viola el espíritu del deporte.

Ningún competidor puede par-

participar en una competencia si ha consumido alcohol o cannabis (mariguana) cuyos efectos creemos son fácilmente identificables y existen pruebas fácilmente accesibles para detectar su presencia en el organismo.

No obstante, como dice un muy antiguo refrán: “*Hecha la ley, hecha la trampa*”, cada prohibición ha conducido a la búsqueda de estrategias menos obvias de alterar de manera ilegal las capacidades atléticas. Con ello, la lista que publica la WADA crece regularmente. La investigación científica que hace ese organismo lo ha llevado a identificar y clasificar en seis grupos importantes los compuestos que no se deben consumir:

**1. Agentes anabólicos.** Son un conjunto de sustancias que imitan el efecto de la testosterona, que es una de las hormonas naturales del ser humano, la hormona sexual masculina. Esta hormona y sus similares provocan el aumento de la masa muscular y su fortaleza. El consumo de este grupo de compuestos es quizá el más alto. Aunada a una dieta rica en proteínas acelera el desarrollo muscular y disminuye los tiempos necesarios para la recuperación después de ejercicio intenso. En la Figura 1 se muestra la estructura de algunos de los compuestos de esta familia, la primera corresponde a la testosterona natural y las otras tres a compuestos sintéticos cuya función es similar.

**2. Estimulantes.** Este tipo de compuestos actúan sobre el sistema nervioso mejorando la respuesta, la capacidad de atención y alerta. De hecho, su acción es similar a la de las hormonas naturales adrenalina y noradrenalina. Aunque la incidencia de su uso es mucho menor que la de los anabólicos, el número de compuestos que aparecen bajo esta categoría en la lista de WADA, es también muy alto. Por ejemplo, las anfetaminas están incluidas en este grupo. Su acción fisiológica conduce a un aumento de la presión sanguínea, razón por la cual no deben consumirse sin vigilancia médica. Cuando este tipo de sustancia se detecta en la prueba de algún atleta, resulta común que exista la complejidad del grupo médico del equipo.

**3. Narcóticos.** Las lesiones durante la competencia son comunes y los atletas deben soportar dolores causados por ellas o por entrenamientos extenuantes. Para sobrellevarlos, existe una serie de analgésicos poderosos que aumentan la tolerancia al dolor intenso. Una proporción importante de estos son derivados del opio, conocidos por ello como opiáceos. Su uso también reduce la ansiedad lo que en ciertos de-

portes es una ayuda importante. Un problema importante del uso de este grupo de sustancias es la posibilidad de desarrollar una adicción. En Estados Unidos existe actualmente, fuera del deporte, un problema muy serio de muertes asociadas a sobredosis de este tipo de compuestos.

**4. Diuréticos.** La acción de este grupo de sustancias es inducir la eliminación de agua a través de la orina. Su presencia en una prueba de control sugiere que se está utilizando con fines de enmascarar algo más. Cualquier sustancia que se elimine por la orina será diluida en un volumen grande de orina y con ello pueden suceder dos cosas: que no sea detectada durante el análisis, o que la concentración de la sustancia prohibida sea menor que los límites establecidos por las normas anti-dopaje.

**6. Hormonas y moduladores metabólicos.** Los efectos secundarios asociados al consumo de sustancias prohibidas en el deporte son importantes. Por tal razón, es frecuente que se suministren otras sustancias con el propósito de limitar los efectos no deseables. En este grupo también se encuentran sustancias que afectan directamente el metabolismo y con ello, la rapidez con la que se produce energía.

Uno de los recientes casos de descalificación por el consumo de compuestos de este grupo, es el de A. Krushelnitsky quien perdió la medalla de bronce que había ganado en curling. Aunque la cantidad de “meldonium” encontrada en su prueba es muy pequeña y se alega no pudo haber causado ningún efecto, constituye una trampa, o al menos un intento de hacerlo.

**5. Beta-bloqueadores; beta-2-agonistas y glucocorticoides.** Este tipo de compuestos son de efectos muy específicos sobre el corazón, los bronquios y el metabolismo de azúcares y grasas. Los primeros bloquean los efectos de las hormonas del estrés sobre el corazón y son medicamentos indicados para tratar la angina de pecho; los beta-2-agonistas son principalmente broncodilatadores, relajan las paredes de los bronquios y permiten la entrada de una mayor cantidad de aire/oxígeno a ellos; se usan en el tratamiento del asma. Finalmente los glucocorticoides participan en la regulación del metabolismo de carbohidratos con lo cual afectan la forma en la que se metabolizan y producen las formas de energía (ATP) que los músculos necesitan.

El segundo caso de dopaje en esta última olimpiada, el de Nadzudha Sergeeva competidora en el bobsled, ocurrió después



## ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)



de que en una segunda prueba se encontró el consumo de una medicina para el corazón, presumiblemente un beta-bloqueador. Un periodista alemán cuestiona el éxito del equipo olímpico de Noruega en el que un número altísimo de sus competidores se han diagnosticado con obstrucciones pulmonares crónicas y requieren dosis regulares de beta-2-agonistas. La agencia sueca de noticias publicó recientemente que cerca del 70% de las medallas ganadas por competidores noruegos corresponden a atletas diagnosticados con asma. Sospechoso, ¿no?

Pero, aquí no terminan las formas de hacer trampa. Si estas sustancias son identificables por los métodos que describiremos más adelante, se han encontrado otras formas de alterar las condiciones fisiológicas de los atletas: el dopaje sanguíneo y el genético. El primero, consiste en realizar transfusiones que eleven rápidamente el contenido de eritrocitos del competidor y así cuente con un mayor número de células dedicadas al transporte de oxígeno a los músculos. Esta forma de dopaje ya está regulada por la WADA. El segundo, aún en etapa experimental, busca modificar la respuesta natural al estrés sobre órganos como el corazón, los pulmones y los músculos buscando los genes que alteren su

respuesta. Una mayor descripción de estas técnicas las puede encontrar en la referencia [3].

### Los químicos analíticos – detectives investigadores.

Cuatro casos de dopaje en tres semanas de competencia. ¿Cómo saben que ocurrieron? ¿Cómo identifican cuál de los compuestos prohibidos apareció?

En cualquier competencia internacional y algunas nacionales se realizan controles. Los controles ocurren sin previo aviso y son obligatorios. Un deportista que se niega a pasarlos recibe la misma sanción que uno que dio positivo al dopaje.

Las pruebas las llevan a cabo Agentes de Control Antidopaje certificados encargados de tomar una muestra de orina y, en ocasiones, una muestra de sangre. Las muestras se envían a un laboratorio autorizado por la WADA. Los controles son pruebas que deben manejarse bajo un proceso regulado y observado ya que comprometen los posibles resultados del atleta y, por supuesto, su reputación. Una vez que las muestras de orina y sangre han sido recolectadas bajo protocolos especiales, hay dos pruebas que se hacen, la inmediata y otra que puede tomar más tiempo. En ambos casos las técnicas utilizadas tienen como principio la cromatografía y se conocen como Cromatografía

de gases acoplada a masas (CG-MS) y cromatografía de líquidos acoplada a masas (HPLC-MS y UHPLC-MS).

La cromatografía es una técnica útil para separar los componentes de una mezcla con base en sus diferentes propiedades físicas y químicas. Así, por ejemplo, puede separar los compuestos más solubles en agua de los menos solubles; también es posible separarlos por su tamaño molecular o por su afinidad relativa entre dos medios. Vayamos primero con los gases.

En la cromatografía de gases la muestra, el suero sanguíneo o la orina, se inyecta en un equipo en el que ocurren los siguientes procesos: Primero, la muestra se calienta hasta evaporarla, después un gas inerte, es decir, que no reacciona con ninguno de los componentes del vapor como el helio o el nitrógeno, arrastra en su flujo a los componentes del vapor y los introduce en una columna que está llena de sílica (un sólido inerte tipo vidrio) y un líquido. Los compuestos arrastrados por el gas pueden ser solubles en el líquido o no. Si no lo son, atravesarán la columna sin disolverse y llegarán al detector más rápidamente. La columna puede mantenerse a temperatura constante o modificar su temperatura gradualmente. Al hacer esto, es posible separar los compuestos de acuerdo a su punto de ebullición; los más volátiles saldrán primero y los menos después. Una vez que un componente sale de la columna, entra directamente a un detector. Los más comunes y poderosos son los de masa molecular con lo que se tienen dos pistas acerca de ese compuesto, su punto de ebullición y su peso molecular. Comparando con bases de datos que contienen esa información sobre los compuestos prohibidos, se puede tener indicaciones que sugieren la presencia o no, de dopantes. La ventaja de esta técnica es el poder realizarla en cuestión de minutos y tener resultados preliminares rápidamente.

La cromatografía de líquidos de alto desempeño (HPLC) utiliza como acarreador un líquido que se bombea a alta presión y arrastra a los componentes de la muestra líquida. (Ver Figura 2) Es decir, no es necesario calentar y vaporizar con lo que los compuestos que se descomponen a altas temperaturas pueden ser estudiados. El líquido a alta presión entra en una columna empacada con una fase sólida cuya función es interactuar de manera selectiva con los compuestos de la muestra y así separar a los que no interactúan con la columna de los que sí lo hacen. La interacción con la fase sólida retarda la salida de la columna. La naturaleza química de la fase sólida puede cambiarse dependiendo del tipo

de componentes que se sospecha tiene la muestra. Una vez que una de las fracciones sale de la columna, los compuestos arrastrados en ella son identificados con diferentes técnicas. Podemos decir que la huella digital de los compuestos separados puede obtenerse cambiando el tipo de detector que se usa. Un detector apropiado tienen la capacidad de detectar la presencia de un compuesto en particular y enviar una señal a la computadora que controla el funcionamiento del equipo. El detector de masas es también muy empleado aquí pero existen otros más. Por ejemplo, la presencia de broncodilatadores se observa con luz ultravioleta porque todos ellos absorben alguna longitud de onda de esta radiación.

En ambos casos, la confirmación rigurosa de la identidad del compuesto encontrado requiere de pruebas que toman más tiempo en realizarse. Por ello, todas las muestras que dan positivo durante una competencia sólo son de carácter indicativo. El resultado final toma varios meses en obtenerse. Las consecuencias de confirmar un dopaje positivo han resultado en retirar medallas a competidores aún años después de la competencia, suspenderlos temporalmente de otras competencias y sanciones económicas a las estructuras deportivas de ciertos países, como sucedió ahora con Rusia.

Mantener el espíritu de la competencia dentro de los márgenes legales no sólo depende de mejores técnicas de detección del consumo irregular de fármacos, suplementos y medicamentos. Es necesario que los atletas estén enterados y educados en los efectos que estos compuestos tienen sobre su organismo en el largo plazo y que de manera coordinada entre atletas y organizaciones deportivas se ponga todo el interés en mejorar las prácticas de entrenamiento destinadas a mejorar sus capacidades de manera segura.

### Referencias.

- [1] <http://www.unesco.org/new/es/social-and-human-sciences/themes/anti-doping/>
  - [2] <https://www.wada-ama.org/en>
  - [3] Dopaje genético y sanguíneo: lo último en trampas deportivas. B. Ruiz Loyola y J. B. Ruiz Gutiérrez, Revista ¿Cómo ves? No. 165, 2012, pág. 22
- Para saber más recomendamos los podcasts de la siguiente página: <http://www.rtve.es/alacarta/audios/deporte-limpio/deporte-limpio-dopaje-debes-saber-18-07-17/4120953/> Y <https://theconversation.com/when-doping-wasnt-considered-cheating-63442>

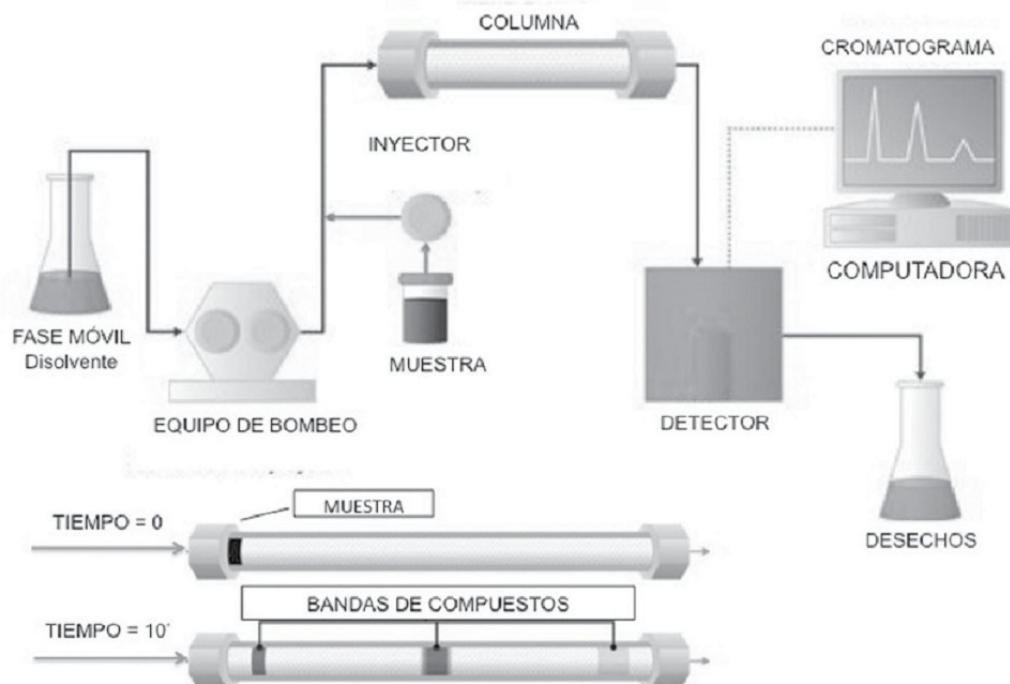


Figura 2. Esquema de un equipo de Cromatografía de Líquidos. En la parte inferior de la figura se muestra lo que ocurriría al interior de la columna una vez que transcurrieron 10 minutos después de la inyección de la muestra. Las bandas de compuestos aparecerán en el cromatograma como picos cuyo tamaño es proporcional a la cantidad relativa de cada componente de la mezcla.