

# De acuerdo!

La ciencia a tu medida

Edición Nº 2

## Fútbol

El menú del futbolista

El cerebro: gran protagonista del fútbol

Midiendo campos

Paramédicos y equipos: dúo que salva vidas

De goles y otros impactos

Esferas mágicas en el estadio

Cuando Tesla diagnostica

Fuerzas físicas, tecnología y azar en juego

y mucho más...



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin





## Prefacio

Estimado lector:

Si te digo FÚTBOL ¿qué es lo primero en lo que piensas?

Me atrevo a adivinar: seguramente pensaste en amigos... un gol inolvidable... cómo o con quién verás el próximo partido de tu equipo favorito... el nombre de algún futbolista reconocido... una lesión inesperada y dolorosa... un árbitro demorando el final de aquel segundo tiempo interminable... la voz de un locutor inconfundible... los gritos en el estadio (¡o los de tus vecinos!) festejando un triunfo...

¿Y qué pensarías si te enteraras que el travesaño, aquel en el que se estrelló el balón después del genial tiro libre de tu jugador estrella, estaba más bajo que lo admitido por reglamento?

Pues... quizás cuando termines de leer este nuevo número de nuestra revista tus respuestas sean otras.

Cuando decidimos que esta nueva edición la dedicaríamos al fútbol, tuvimos en cuenta no sólo que es el deporte más popular en la mayoría de los países latinoamericanos y que el Campeonato Mundial se estaría desarrollando justamente en nuestra región, sino que nos atrajo el desafío de mostrar y demostrar la importancia que tienen para el fútbol la metrología y las mediciones.

En toda reunión después de un partido, con amigos o en familia, al hablar de fútbol por lo general suenan nombres de grandes estrellas que hacen o han hecho vibrar estadios y comunidades enteras con sus genialidades deportivas. Pero difícilmente se nombren a Tesla, Polo, Sievert o Magnus. ¿Te estás preguntando en qué equipo juegan? Bueno, en ninguno en particular; sin embargo forman parte del deporte y más de lo que imaginas.

Ellos, al igual que fuerzas físicas, tecnología, ciencia e innovación son jugadores invisibles y silenciosos que participan en partidos y goles; en las tribunas y en las canchas; en los uniformes deportivos y en el comportamiento de los balones; en la atención de lesiones y en la transmisión de los eventos.

Presentártelos y contarte cómo han contribuido a la evolución y desarrollo del fútbol es parte de lo que nos hemos propuesto en este nuevo número.

Mientras preparamos la revista nosotros también aprendemos; no sólo de ciencia, avances científicos y (esta vez) fútbol, sino también de nuestro idioma. Por ejemplo, al preparar este número supimos que la palabra “cancha”, que en varios países de Latinoamérica es utilizada para referirse a los campos de fútbol, es de origen quechua –lengua de los incas– y ha sido incorporada por el idioma español.

¿Habrá más palabras de origen quechua en el vocabulario futbolero? ¿Las habrá de origen guaraní, aimara, náhuatl, maya o mapundungun?

Tu respuesta a estas preguntas así como tus comentarios sobre los artículos nos los puedes hacer llegar a través de nuestra página: [www.revistadeacuerdo.org](http://www.revistadeacuerdo.org)

Esperando que disfrutes la lectura, recibe un cordial saludo,

ALEXIS VALQUI



Alexis Valqui, Director de la revista  
*¡De acuerdo! – La ciencia a tu medida*  
Foto: Alberto Parra del Riego



# Índice

## Prefacio

Alexis Valqui... 1

## Ganar, ¿a toda costa?

JASSON CLARKE... 14

## Con prisa y sin pausa

CANELA DE OLAZÁBAL... 27

## El menú del futbolista

DANIELA HIRSCHFELD... 6

## Midiendo campos

MARTHA GUIMARÃES... 20

## El cerebro: gran protagonista del fútbol

GRETTEL RIVERA ALVARADO... 10

## Paramédicos y equipos: dúo que salva vidas

JOSÉ LUIS BARRAGÁN... 24





# Fútbol

## Cuando Tesla diagnostica

JULIETA ESPINOSA... 44

## ¡¡Goooll!!

LILLIAM MORA... 60

## Un uniforme para ganar

JASSON CLARKE... 40

## De goles y otros impactos

CANELA DE OLAZÁBAL... 30

## La luz: protagonista en los estadios deportivos

CLAUDIA MAZZEO... 50

## Sonidos y decibeles

ENRIQUE GARABETAN... 64

## Fuerzas físicas, tecnología y azar en juego

CARLOS VERA... 47

## Esferas mágicas en el estadio

CLAUDIA MAZZEO... 36

## Luces... cámaras... ¡fútbol!

LILLIAM MORA... 56





La metrología está presente de una manera activa en el desempeño de los futbolistas. Contribuye a medir con precisión aspectos fundamentales como su masa muscular, su resistencia, el funcionamiento de su cerebro, los nutrientes necesarios en su dieta así como las concentraciones en sangre de productos prohibidos que atentan contra el *fair play* y la salud del deportista.



**El futbolista**



# El menú del futbolista

Facundo estaba nervioso. Sentado en el consultorio esperaba para que un extraño aparato con forma de pinza le pellizcara la piel. Sabía que no le iba a doler, pero estaba incómodo. La experta tomó la pinza, pellizcó suavemente para formar un pliegue en la piel del abdomen y observó el aparato. Así lo repitió en los brazos, los pectorales y las piernas. La pinza tenía una regla con medidas y lo que indicaba lo anotaba en una tabla.

Luego, Facundo debía pararse descalzo sobre una balanza y tomar con sus manos una especie de manubrio adosado a ella. Ese aparato también marcó unos números; la especialista los anotó y realizó cálculos en base a fórmulas establecidas. Los resultados iban a cambiar gran parte de la vida de Facundo.

Él tiene 19 años y ya es padre de un niño. No estudia pero juega al fútbol desde muy pequeño y este año logró jugar en la primera división del fútbol uruguayo. Hoy lleva la camiseta de uno de los principales equipos del país e integra la selección uruguaya Sub 20. Sin embargo, si quiere vivir de este deporte le dicen que debe hacer cambios. Para eso fue al consultorio de Mónica Rosa, su nutricionista, que está especializada en deporte y se desempeña como tal en la Mutual Uruguaya de Futbolistas Profesionales y en otro equipo de primera división del país.

A la vista, Facundo es delgado y atlético, pero en el mundo del fútbol debe ganar masa muscular. Le dicen que su físico tiene 18 % de músculos y que debe llegar a 23 %; y ese 5 % será significativo. Al menos eso es lo que indicaron los números de esa extraña pinza, la balanza con manubrio y otras mediciones que hizo la nutricionista para evaluar su composición corporal, que es algo mucho más amplio que solo su peso en kilogramos.

La masa de músculos, grasa y huesos debe guardar cierta proporción para que su cuerpo esté en óptimas condiciones para jugar al fútbol con un rendimiento profesional. Internacionalmente, los científicos determinaron rangos de porcentaje recomendables para cada uno de esos elementos. Sin embargo, esas proporciones varían según el deporte que se practique –por ejemplo, un jugador de rugby necesitará más masa muscular que un maratonista– e incluso entre los mismos futbolistas, de acuerdo con la posición en la que jueguen. Las referencias internacionales indican que la masa de grasa de un delantero debería oscilar entre 9 y 11 % de su peso, pero en los análisis realizados a los delanteros este valor puede variar entre 10 y 13 %.



Para saber si Facundo cumple esos estándares la especialista usó esa pinza (llamada adipómetro o plicómetro) que mide el espesor del pliegue de la piel y el tejido adiposo en diferentes partes del cuerpo para conocer la cantidad de grasa subcutánea en cada zona. La peculiar balanza, por su parte, es un equipo de bioimpedancia eléctrica que permite cuantificar el porcentaje de masa muscular y de grasa en todo el cuerpo. Lo hace midiendo la resistencia que ejercen las diferentes células del cuerpo a una corriente eléctrica aplicada por el aparato, que es imperceptible e inocua para el ser humano. Se sabe que la masa libre de grasa –como músculos, huesos y órganos– contiene la mayor parte del agua corporal, característica que los transforma en buenos conductores de la corriente eléctrica. Al contrario, la grasa tiene menos fluidos y ofrece mayor

resistencia. Así, al aplicar la corriente, el aparato estima el agua corporal total e, indirectamente, calcula la masa muscular y la masa grasa.

En el consultorio, Facundo supo también que si bien el aparato es “inteligente” –porque es capaz de relacionar la resistencia de su cuerpo con su masa muscular y grasa– se debe considerar que la resistencia que mide depende además de otros parámetros que él debe aportar, como su peso, altura, edad y sexo. Ingresando esa información en el aparato existen algoritmos que maneja el programa –y que son como una especie de lista de instrucciones– que permiten estimar los porcentajes de grasa y músculos de su cuerpo en particular. Estos algoritmos son específicos para niños, adultos, hombres o mujeres, y cada uno tiene en cuenta las diferencias en la composición corporal de estos grupos. La precisión en el resultado de masa muscular proporcionada por el equipo es muy importante porque en base a éste se controlará el grado de avance de Facundo en el aumento de su masa corporal (si se busca medir variaciones de 5 %, por ejemplo, no se puede permitir errores de 2 %). Es tan importante que hay que asegurar que las mediciones sean comparables todas las veces que se le realizan y para ello, por ejemplo, se le exigirá que esté en la misma posición y que haya orinado inmediatamente antes de la medición, pues estos parámetros también influyen en el resultado.

Pero finalmente, ¿qué significa ese 5 % para Facundo? Quizás levantando algunas pesas y tomando esos suplementos utilizados por los fisicoculturistas estaría listo, ¿o no? No. Ganar masa muscular sin sumar grasa en exceso, por ejemplo, no es fácil. Para que Facundo logre sumar ese 5 % de músculos su nutricionista tiene otro plan y sus cómplices son: el desayuno, la colación de media mañana, el almuerzo, dos meriendas (separadas por tres horas) y la cena. Ellos le proveerán de carbohidratos, proteínas y grasas saludables además de otros nutrientes que son los elementos que, en las proporciones adecuadas, permitirán a Facundo lograr su objetivo, así como el funcionamiento correcto de su cuerpo y su rendimiento profesional.

En el fútbol, una alimentación “estratégicamente diseñada” puede mejorar notoriamente el rendimiento tanto físico como mental del jugador y reducir el riesgo de lesiones; y el impacto de la mala o buena alimentación no solo se ven en el campo de juego. Los médicos deportólogos también lo confirmaron a través de estudios, como el coordinado por Milton Mazza, profesor adjunto de la Cátedra de Medicina del Ejercicio y Deporte de la Facultad de Medicina perteneciente a la universidad estatal de Uruguay. Su equipo analizó los beneficios que tuvo en futbolistas de entre 13 y 15 años la suplementación de su dieta normal con proteínas, grasas y carbohidratos. Luego de tres meses, los científicos comprobaron que

los jóvenes aumentaron 10 % su velocidad y 15 % su masa muscular.

No se trata de pociones mágicas. Según estudios internacionales, la dieta de un futbolista debe incluir 60 % de carbohidratos, 20 % de grasas y 20 % de proteínas en los alimentos consumidos diariamente, de modo de cubrir la demanda energética de todas sus actividades.

Los carbohidratos son la principal fuente de energía del organismo, y la fatiga durante y después de un partido se debe a la disminución de las reservas de energía en los músculos. Ellos están presentes en frutas y verduras; arroz, panes y cereales integrales; legumbres como fríjoles, lentejas y arvejas. Por su parte, las grasas saludables –llamadas poli y monoinsaturadas– son el mayor depósito de energía para el cuerpo y también son una forma eficiente de almacenar el exceso de energía para usarlo en tiempos de necesidad. La ingesta de grasas está asegurada con alimentos como nueces, almendras, aceite de oliva, de maíz y de girasol, palta (aguacate), manteca de maní (cacahuete), semillas de girasol, margarina y mayonesa. Luego, las proteínas –presentes en carne de pollo, cortes magros de carne vacuna y cerdo, pescados y mariscos; nueces, almendras y semillas; legumbres, huevo y lácteos– son las que ayudan a la reparación y fabricación de tejido muscular y también a la regulación del metabolismo. Todo eso junto a vitaminas y minerales como el calcio o el hierro, que son importantes en la protección del organismo ante el estrés que genera el ejercicio de alto rendimiento.

Una balanza para conocer el peso del futbolista, una cinta métrica y un equipo de bioimpedancia eléctrica son algunos de los dispositivos que usan los nutricionistas en su consultorio.  
Fotos páginas 6-7: Daniela Hirschfeld





Estos compuestos forman parte de la dieta normal de cualquier persona, pero en un futbolista profesional el menú diario debe tener un “diseño estratégico”, que aporte los compuestos adecuados según el objetivo buscado. Al indicar un plan de comidas para un jugador como Facundo, por ejemplo, la nutricionista tiene en cuenta todo el desgaste de energía que él realiza, tanto dentro como fuera de la cancha. Si además de entrenar, estudia, trabaja o tiene familia, eso debe contemplarse, porque en esas actividades también hay gasto energético.

Por eso, Facundo salió del consultorio con un objetivo –aumentar 5 % su masa muscular– y una estrategia nutricional para lograrlo. “Los futbolistas son como autos de carreras y como tales deben tener un combustible mejor que otros, porque gastan más energía y corren más riesgo de lesiones”, ejemplificó Mónica.

La estrategia del primer mes proponía balancear y equilibrar su alimentación e incluir en su dieta más alimentos que ayudaran a desarrollar masa muscular como las proteínas de origen animal y vegetal –pollo, pescado, legumbres, lácteos– y también carbohidratos, para mejorar sus reservas energéticas, lo que incluyó panes integrales, cereales y otros productos con harina. Durante un mes, Facundo elaboró las comidas diseñadas y, semana a semana, los aparatos en el consultorio fueron mostrando cómo incrementaba su masa muscular. Y lo más importante: también mejoró su rendimiento y disminuyó la fatiga luego de la actividad física. Eso lo notó Facundo en la cancha. Dos meses después logró alcanzar el objetivo.

Mientras Facundo seguía ese plan de alimentación, muchos de sus compañeros no cumplían la misma dieta. Sobre todo los que rondan los 30 años, pues la demanda energética de un joven en crecimiento como él no es la misma que la de un jugador mayor de 25 años, por ejemplo. El metabolismo de Facundo es más acelerado, gasta más energía y su cuerpo aún está generando masa muscular. En cambio, sus colegas más veteranos tienden a acumular grasas y deben tener una dieta acorde para mantenerse en forma.

Las mujeres futbolistas son un tema aparte. En ellas, si bien se mantiene el criterio de conservar las proporciones óptimas de músculos, grasa y huesos, su dieta debe incluir más calcio y hierro, compuestos que pierde en los días de menstruación. Por ejemplo, deben consumir verduras de hojas verdes que son fuente de hierro y calcio, lácteos y sus derivados, así como legumbres.

Facundo ya alcanzó su meta. Lo que hoy logra en la cancha no es solo resultado de las estrategias planteadas por el director técnico, sino también del plan de alimentación que crea el nutricionista y que prepara el cocinero. Por eso, además de las charlas técnicas, el día antes del partido las proteínas serán las estrellas en el menú del plantel y el cocinero incluirá frutas, verduras, papa, arroz o pastas en las comidas.

El día del partido –90 minutos en los que el futbolista quemará aproximadamente 1600 calorías, y una futbolista 1100 calorías– el desayuno será la comida más importante,



Para controlar la evolución física de los futbolistas, la nutricionista Mónica Rosa toma medidas en su consultorio que le ayudan a ajustar el plan nutricional de su paciente. Foto: Daniela Hirschfeld





y el almuerzo será más liviano, aunque las proteínas serán las protagonistas. Sobre todo reinarán las proteínas vegetales –provenientes de las legumbres– porque son más fáciles de digerir y el organismo gasta poca energía en hacerlo. La hidratación también es primordial antes, durante y después de los entrenamientos y partidos. En climas calurosos, la guía *Nutrición para el fútbol* elaborada por científicos de todo el mundo a pedido de la FIFA recomienda consumir unos 500 ml de líquidos durante los 60 a 90 minutos previos al inicio del juego. Eso dará tiempo suficiente para que la orina elimine el exceso de agua corporal previo al partido.

Facundo ya anotó goles decisivos para su equipo y la hinchada lo aplaude; también su médico deportólogo, su nutricionista y el cocinero.

DANIELA HIRSCHFELD (URUGUAY)

Facundo Castro juega en Defensor, en la primera división del fútbol uruguayo. Debí seguir un plan nutricional para ganar 5 % de masa muscular.  
Foto: Daniela Hirschfeld

## Nutrición para el fútbol, según la FIFA

### Proteínas

De acuerdo con la guía *Nutrición para el fútbol* elaborada por científicos de todo el mundo a pedido de la FIFA, la ingesta diaria de proteínas recomendada para una persona sedentaria es de 0,8 gramos de proteínas por kilogramo de peso corporal. Es decir que una persona de 70 kilogramos debería consumir 56 gramos de proteínas. La guía detalla también que los ejercicios de musculación y resistencia pueden incrementar las necesidades diarias de proteínas a 1,2 ó 1,6 gramos de proteínas por kilogramo de peso.

A modo de referencia, los siguientes alimentos brindan 10 gramos de proteínas:

- 2 huevos pequeños
- 300 ml de leche de vaca
- 30 g de queso
- 35-50 g de carne, pescado o pollo
- 4 rebanadas de pan (1 rebanada = 25/35 g)
- 3 tazas de arroz hervido (1 taza = aproximadamente 200 g)
- 2 tazas de pasta cocida (1 taza = 200 g)
- 150 g de legumbres o lentejas
- 200 g de frijoles cocidos

### Carbohidratos

Previo a un partido de fútbol de alta competencia, la guía *Nutrición para el fútbol* sugiere la ingesta de entre 1 y 4 gramos de carbohidratos por kilogramo de peso corporal. Tomando un valor de 2 gramos por kilogramo, esto supone que una persona de 70 kilogramos debería consumir 140 gramos de carbohidratos. En base a esa recomendación, la guía sugiere algunas combinaciones de alimentos que pueden ofrecer esa cantidad de carbohidratos previo a una competencia:

- 2,5 tazas de cereal en el desayuno (1 taza = 35 a 40 g) + leche + 1 plátano grande
- 1 pan o tres rebanadas finas de pan untadas con miel (1 rebanada = 25 a 35 g)
- 2 tazas de arroz hervido (1 taza = aproximadamente 200 g) + dos rebanadas de pan

Fuente: Guía *Nutrición para el fútbol* (FIFA)

# El cerebro: gran protagonista del fútbol



Cuando se juega fútbol el cerebro trabaja sin parar. Las distintas regiones de este órgano contribuyen al éxito en el deporte más seguido en el mundo.

Faltan dos minutos para el final del partido... tu equipo tiene un empate y tu concentración está al máximo para cambiar el marcador a tu favor.

En ese momento, tu cerebro trabaja laboriosamente para procesar la información del entorno: los gritos de la afición, el contrincante que te sigue el paso, el compañero que te hace señas y el movimiento del balón. Pero ¿te has preguntado qué hace exactamente tu cerebro al jugar fútbol? No sólo se encarga de hacer que tus piernas y brazos se muevan sino que en el mayor órgano del sistema nervioso central se llevan a cabo procesos cognitivos llamados funciones ejecutivas, las cuales se desarrollan durante los primeros años de vida. A grandes rasgos, estas habilidades controlan y ejecutan tus comportamientos.

Estudios científicos han demostrado que las funciones ejecutivas medidas a través de pruebas neuropsicológicas, establecen si un futbolista es capaz de alcanzar altos niveles en el fútbol.

## ¿Qué pasa en el cerebro?

No podrías patear un balón de fútbol sin tu cerebro. El cerebro (o encéfalo), las neuronas y la médula espinal conforman un equipo único llamado el sistema nervioso central. Dicha estructura es fundamental para la comunicación entre el organismo y el ambiente que le rodea. Es decir, cada región del sistema nervioso central se encarga de controlar y coordinar los estímulos que te llegan del entorno. La capacidad de jugar fútbol es resultado de la evolución humana.

El lóbulo frontal es el área anatómica que nos diferencia de otros primates. La evolución que ha tenido esta estructura durante millones de años te permite la asociación cognitiva, es decir, razonar y predecir fenómenos, como lo haces cuando estás en un partido. El lóbulo frontal es



el principal encargado del desarrollo de las funciones ejecutivas, las cuales permiten procesos como la anticipación, la capacidad multitarea, la memoria de trabajo y el establecimiento de metas.

Pero hay más variables en el juego. Estar erguido, mantener el equilibrio y moverte de un lado a otro, es posible gracias al cerebelo. Esta región coordina movimientos corporales según la información que recibe del cerebro. Una lesión en el cerebelo te causaría problemas al ejecutar movimientos precisos y mantener la postura, es decir, tus funciones motoras estarían afectadas y no podrías practicar deportes.

El lóbulo parietal recibe las sensaciones de tacto, frío, calor y dolor que puedes percibir en la cancha.

Por otro lado, el lóbulo occipital procesa la información visual en el campo de juego y el lóbulo temporal se encarga del lenguaje y de procesar la información que llega a tu oído, como las indicaciones del entrenador.

El tronco encefálico, que conecta la médula espinal y el cerebro, regula funciones como el estado de alerta y las frecuencias cardiorespiratorias, las cuales son de suma importancia en un deporte como el fútbol. Otra de sus funciones es controlar los músculos involuntarios (los que funcionan automáticamente, sin que pienses). Por ejemplo, esta estructura le dice a tu corazón que bombee más sangre cuando vas corriendo a través del campo de fútbol. Gracias a esta parte del sistema nervioso central estás vivo, ya que se ocupa de funciones como la respiración y la digestión de alimentos.

La médula espinal se encarga de comunicar al cerebro con el resto del organismo. Esta estructura está formada por grandes conexiones de neuronas.

El sistema nervioso central es como un equipo de fútbol: necesita trabajar correctamente y en coordinación para realizar sus tareas. Si estas estructuras cerebrales no funcionaran de forma correcta, no podrías practicar fútbol eficientemente.

La neurociencia, campo que estudia el sistema nervioso y su relación con la conducta humana, también puede ayudarnos a entender la forma en que te desempeñas en la cancha de fútbol. Para ello, se realizan diversas pruebas que permiten evaluar si un futbolista cumple los requisitos necesarios, como por ejemplo: ser resistente y veloz, tener capacidades cognitivas fuertemente desarrolladas, habilidades tácticas y buen manejo del balón.

Algunos de los elementos que se miden con estas pruebas incluyen: el rendimiento físico, el número de goles anotados, la cantidad de minutos jugados, los metros corridos y el porcentaje de grasa corporal.

## Cerebro a prueba

Pero ¿cómo saber que tus funciones ejecutivas y otras funciones cerebrales están en óptimas condiciones para ser un futbolista de élite? Actualmente los neurocientíficos realizan diversas pruebas para medir el desempeño de un jugador.

Las pruebas incluyen desde la realización de ejercicios físicos hasta el análisis del cerebro por medio de electrodos conectados a modernos escáneres.

Estas pruebas medirán habilidades cognitivas como el control de la conducta, la capacidad para enfrentarte al cambio, para efectuar jugadas planeadas, para organizarte con tu equipo y tu

capacidad de realizar varias acciones al mismo tiempo. También medirán tu rendimiento en cuanto a resistencia y velocidad.

Los científicos te observarán y llenarán diversas escalas mientras simulas que juegas. También escanearán tu cerebro, con el fin de saber cuáles partes del mismo se activan de acuerdo a distintos estímulos.

Las técnicas de obtención de imágenes cerebrales se aplican tanto a deportistas como a personas que no lo son, generalmente, con fines médicos.



Por ejemplo, la tomografía computarizada es un procedimiento que utiliza rayos X (radiación electromagnética que produce imágenes del interior del cuerpo) con el fin de detectar anomalías en el cerebro. Cuando te apliquen esta técnica estarás acostado inmóvil sobre una mesa que pasará a través de un gran escáner. Esta máquina creará imágenes bidimensionales o tridimensionales de tu cuerpo.

La tomografía de cráneo se utiliza principalmente para la detección de tumores cerebrales, infecciones, accidentes cerebrovasculares o lesiones por traumatismos en la cabeza y el rostro que pudieras provocarte practicando fútbol.

Este procedimiento conlleva precauciones especiales debido a que trabaja con radiación. Para expresar la dosis de radiación absorbida por la materia viva se utiliza la unidad de medida llamada el milisievert (mSv).

Para una tomografía de cabeza, la dosis de radiación absorbida por la materia viva generalmente es de 2 mSv (lo que equivale a la radiación que recibes día a día, tanto de la Tierra como del espacio exterior, a lo largo de 8 meses).

Pero ¿a cuántas radiografías equivale una tomografía computarizada? Cada procedimiento de rayos X intra-orales que nos realizamos tiene una dosis de 0,005 mSv. Una tomografía de tórax, por ejemplo, requiere 7 mSv, es decir que nos estaríamos exponiendo al equivalente a 1400 radiografías intrabucales. Debido a que los distintos tejidos y órganos tienen una sensibilidad distinta ante la radiación, la dosis varía. El radiólogo debe medir la dosis de radiación ionizante correctamente, de lo contrario supondría un riesgo para la salud de la persona.

Realizar pruebas con radiación constantemente a una misma persona aumenta los riesgos de adquirir cáncer. Las mujeres embarazadas deben indicar al doctor de su estado, debido a que la radiación puede provocar malformaciones en el feto. Esta técnica debe aplicarse sólo cuando sea imprescindible.

## Inteligencia futbolística

¿Cómo logras evitar una barrida y mantener el control de la pelota? Muy sencillo: la memoria de trabajo es una función ejecutiva que permite realizar y manipular varias acciones de manera simultánea. También el control inhibitorio te ayuda a regular tus impulsos y llevar a cabo las acciones de forma más adecuada.

En el fútbol y otros deportes colectivos, lo que diferencia un buen jugador de un jugador excepcional es la inteligencia que muestra en el campo de juego.

¿Recuerdas las funciones ejecutivas de las que hablamos al inicio? La resolución de problemas, la capacidad multitarea, el planeamiento y la habilidad de enfrentarse a situaciones inesperadas, son algunas de estas funciones. Estas capacidades dirigen tu conducta hacia un único fin: ganar el partido. Ellas ayudan a tomar decisiones en momentos de tensión, a comparar situaciones, a reconocer patrones y a predecir movimientos. Los neurocientíficos dicen que es una cuestión de supervivencia. Nuestro cerebro toma decisiones antes de que seamos conscientes de ellas, para prevalecer en un medio hostil.

## ¿Quieres saber más sobre las radiaciones médicas?

### ¿Qué es un Sievert?

Es una unidad de medida para expresar la dosis de radiación absorbida por la materia viva.

### ¿Cómo se mide la dosis correcta de radiación?

Algunas veces se utilizan pruebas con cámaras de ionización y maniqués para determinar la dosis de radiación según cada parte del cuerpo. Otros procesos incluyen equipos que calculan la dosis de acuerdo a las características físicas de la persona.

### ¿Qué es la dosis absorbida y qué es la dosis efectiva?

La dosis absorbida se refiere a la cantidad de energía que recibe un tejido (como la piel). La dosis efectiva indica el tipo de radiación que se aplica en el tejido y cuál porción específica de ese tejido es irradiada.

### ¿Qué pasa si la radiación aplicada no fuese la correcta?

Si una persona se expone regularmente a radiaciones ionizantes con medidas incorrectas, podría sufrir de aparición de tumores, náuseas y daños en la piel.

### ¿Quién es responsable de aplicar la medida adecuada de radiación en Sieverts en una prueba?

Cada centro médico debe tener un radiólogo que se encarga de proporcionar la cantidad adecuada de radiación, por medio de la calibración de los equipos con los patrones nacionales indicados por el Instituto Nacional de Metrología correspondiente.

Tabla elaborada por la autora. Fuentes: Radiology Info: [http://www.radiologyinfo.org/sp/safety/index.cfm?pg=sfty\\_xray](http://www.radiologyinfo.org/sp/safety/index.cfm?pg=sfty_xray), Intermountain Health Care: <http://intermountainhealthcare.org/ext/Dcmnt?ncid=521387125>

Técnicas médicas que utilizan radiación para estudiar diversas partes del cuerpo de un deportista

### Tomografía computarizada

Esta técnica permite detectar huesos fracturados o hemorragias internas, producto de movimientos bruscos en un deporte como el fútbol. También detecta anomalías cerebrales y enfermedades neurológicas.

### Resonancia magnética

Los médicos utilizan la resonancia magnética para obtener imágenes de alta resolución de las articulaciones del cuerpo. La rodilla, el tobillo y el hombro son las que más se analizan para detectar lesiones. También para diagnosticar trastornos como accidentes cerebro vasculares (trastorno brusco de la circulación cerebral), tumores cerebrales, anomalías del tronco encefálico, la columna vertebral y la esclerosis múltiple (lesiones neurodegenerativas del sistema nervioso central).

### Tomografía por emisión de positrones

En un deporte como el fútbol, esta prueba es útil para evaluar posibles anomalías cerebrales como tumores y desórdenes del sistema central nervioso que puedan afectar la actividad del futbolista (como la epilepsia, los tumores y accidentes cerebro vasculares).

### Tomografía computarizada por emisión de fotón único

Esta técnica es útil para descartar posibles enfermedades cognitivas, tumores o lesiones cerebrales en los deportistas. Utiliza rayos gamma para medir el flujo de circulación sanguínea y la función metabólica del cerebro.

### Angiografía cerebral

Estudia los vasos sanguíneos cerebrales, con el fin de detectar aneurismas cerebrales o malformaciones vasculares que pudieran afectar la actividad deportiva.

### Ultrasonido terapéutico

La vibración producida por las ondas relaja y alivia los músculos lastimados e inflamados por la actividad física. También ayuda a la regeneración de tejidos.

Los futbolistas de élite actuales son un gran ejemplo del *homo sapiens* cazador, con un cerebro altamente preparado para enfrentar los problemas de su ambiente. Los jugadores profesionales deben gozar de capacidades físicas y mentales superiores para una actuación rápida y coordinada en un espacio que contiene compañeros, contrincantes y objetivos que alcanzar.

El fútbol, como un deporte táctico, conlleva procesos cognitivos que posibilitan el éxito o el fracaso en un partido. Por ello, un futbolista de alto rendimiento tiene funciones ejecutivas muy desarrolladas, que le ayudan a llegar a competencias nacionales e internacionales.

Cuando eligen al futbolista adecuado, los entrenadores de fútbol analizan aspectos del deportista, a través de métodos médico - fisiológicos y psicológicos.

La selección se realiza a partir de analizar cualidades como la atención, la coordinación de movimientos, la velocidad, la resistencia, el equilibrio y movimiento del cuerpo, el estado de salud y la constitución física.

Desde el punto de vista científico, algunos criterios para seleccionar jugadores de fútbol incluyen: el potencial de desarrollar cualidades físicas y de coordinación, características psicológicas, capacidades cognitivas, realización de acciones complejas con rapidez, creatividad ante situaciones de estrés, agilidad y cooperación con su equipo.

Los entrenadores plantean pruebas como fortalecimiento de abdominales, práctica de flexiones y saltos, pruebas de dominio del balón, remates, tiros de penal y conducción por la cancha así como pruebas antropométricas que miden la estatura, el peso, la grasa corporal y la longitud de las piernas.

Para determinar el estado de cada jugador, el director técnico se basará en la medición de la velocidad alcanzada, los metros recorridos, la capacidad de reacción y el tiempo de juego. Esto le permitirá plantear las mejores estrategias, de acuerdo a las fortalezas y debilidades del equipo.

¿Todo jugador nace con esas habilidades o las adquiere? Estudios científicos demuestran que el entrenamiento intensivo es la clave para desarrollar la inteligencia futbolística, tomando como ejemplos a jugadores como Pelé o Cristiano Ronaldo.

Volvamos al juego. Estás en los segundos finales del partido. Tu cerebro trabaja sin descanso: escucha a la afición, recibe las indicaciones de tu entrenador y ayuda a que tu cuerpo esquive al contrincante.

¡Muy bien! Lograste pasar a tu rival y avanzar hacia el marco contrario. Te acercas, te concentras más que nunca y pateas la pelota. El público grita “¡Gooool!”. El árbitro señala el final del juego. ¡Ganaste el partido!

GRETTEL RIVERA ALVARADO (COSTA RICA)

Fuente: elaborada por la autora en base a la información publicada en <http://www.msdsalud.es>

Imágenes páginas 10-11: Spielplan © Coloures-pic - Fotolia.com, kids playing football outside © Dusan Kostic - Fotolia.com, distorsione alla caviglia © massimhokuto - Fotolia.com, Hören und Sagen © Henryk Boeck - Fotolia.com, Modern man with cyber technology target military eye © ra2 studio - Fotolia.com, Fußballspiel © UwHoGe - Fotolia.com, Puls messen © Henry Schmitt - Fotolia.com, cano-02 © Paco Ayala - Fotolia.com, Human Brain Mix © vectorus - Fotolia.com



# Ganar, ¿a toda costa?

La sangre es un tejido con una capacidad maravillosa: sus células transportan el oxígeno y los nutrientes que necesitamos para vivir, así como también desechos y toxinas que deben ser procesados y eliminados de nuestro cuerpo.

Para un futbolista su sangre es un factor clave para su desempeño atlético. Aunque no se percate de ello, ejercitarse constantemente cambia de manera positiva la composición de su sangre. Aumentando su capacidad para transportar oxígeno, elemento vital para que el cuerpo utilice la energía disponible de manera eficiente, irrigará mejor a los músculos dándoles fuerza y rapidez.

Por eso, cuanto más entrene un atleta, mejor será su rendimiento deportivo. Podrá correr por más tiempo, más rápido y se cansará menos, cualidades muy importantes para un futbolista profesional.

No obstante, algunos deportistas eligen recurrir a métodos diferentes al entrenamiento para mejorar su condición física y desempeño.

## Detectives del fraude

El dopaje es un tema muy serio dentro del atletismo competitivo. Todo deportista quiere ser el más rápido, el más fuerte, el de mayor resistencia o el más ágil. Todos quieren ser el mejor. Y a veces, cuando el entrenamiento por sí solo no da los resultados deseados, algunos atletas recurren a medidas poco éticas para mejorar su rendimiento.

El uso de medicamentos o químicos prohibidos que mejoran el desempeño atlético de un deportista se conoce como dopaje. Los casos ocurren en una amplia gama de disciplinas y con el pasar de los años esta práctica ilícita se ha vuelto cada vez más avanzada y sofisticada.

Utilizar estas sustancias les da a los atletas una ventaja injusta por sobre sus competidores que no las utilizan, por lo que las organizaciones y federaciones deportivas de todo el mundo trabajan fuertemente en detectar los casos de dopaje, por más que los atletas que las utilizan y sus entrenadores intenten esconderlo.

Aunque no es un deporte que suele asociarse con esta práctica, el fútbol no se escapa de los casos de dopaje. En realidad ya se han detectado varios casos de dopaje en futbolistas y la FIFA ya ha tomado una posición seria en cuanto a esto.

Por más sofisticados que sean los métodos de dopaje y aun cuando las sustancias usadas imiten a las producidas naturalmente por el cuerpo, existen pruebas confiables y precisas para detectar su uso, que se realizan utilizando muestras de sangre y orina de los atletas. Las asociaciones deportivas suelen aplicarlas de manera sorpresiva a una selección de atletas escogida al azar.

El análisis de las muestras usualmente busca medir la concentración en la sangre de ciertas hormonas o sustancias que el cuerpo no produce naturalmente. En otras palabras, los análisis indican si está presente y cuánto de esa sustancia se encuentra en un volumen determinado de sangre u orina.



Las pruebas antidopaje también detectan concentraciones anormales de una molécula que el cuerpo produce normalmente. Para cada sustancia hay niveles o rangos que se consideran normales y permitidos, pues son los que se encontrarían naturalmente en un atleta sano. Cualquier resultado que supere estos niveles sería anormal, e indicaría un posible caso de dopaje.

Por ejemplo, es el caso de la testosterona. De forma natural, por cada molécula de testosterona en el cuerpo se produce una molécula de epitestosterona (molécula complementaria que no mejora el desempeño atlético). Entonces, cuando un atleta tiene niveles elevados de testosterona pero bajos de epitestosterona, se podría estar ante un caso de dopaje.

Existen muchas técnicas para detectar la presencia y concentración de sustancias prohibidas en la sangre y la orina. La cromatografía es una de ellas. Esta técnica separa los distintos compuestos presentes en mezclas complejas y los fija en un soporte como papel, geles o resinas.

Volvamos al ejemplo sobre la sangre. En su paso por todos los órganos y tejidos, la sangre transporta compuestos químicos útiles (oxígeno, nutrientes, glucosa, entre otros) y retira los que no se necesitan (toxinas, desechos y demás). Esto hace de la sangre una mezcla compleja.

Los componentes de la sangre varían en sus propiedades físico-químicas. La cromatografía aprovecha esas diferencias para distinguir entre ellos, para lo cual primeramente hay que separarlos.

Se utilizan dos fases para realizar la separación: la primera es un soporte fijo llamada fase estacionaria, que puede ser papel, sílice, alúmina u otro material y la segunda es llamada fase móvil, que puede ser líquida o gaseosa y tiene como función arrastrar los componentes de la muestra.

La cromatografía usa un eluyente (la fase móvil), sustancia en la cual se diluye la muestra a analizar y que puede atravesar toda la fase estacionaria. Conforme el eluyente atraviesa la fase estacionaria, cada componente de la muestra de sangre u orina experimenta una velocidad de arrastre diferente, lo cual permite la separación entre ellos.

Los resultados de la cromatografía quedan registrados en un cromatograma, un gráfico en el que las concentraciones de cada sustancia se cuantifican en relación al área de los picos.

Es importante tener en cuenta que la cromatografía es solo una de las posibles técnicas de separación de sustancias. La cuantificación se hace mediante distintos tipos de detectores que se acoplan al cromatógrafo, como por ejemplo el espectrómetro de masa, del que hablaremos más adelante.

La cromatografía nos puede decir no solo qué sustancias componen la muestra de sangre u orina, sino también las concentraciones de esas sustancias. Así se puede saber si los niveles de un compuesto se encuentran dentro de los valores normales.

Esto es particularmente importante cuando se considera que algunas nuevas formas de dopaje buscan imitar o estimular la producción de compuestos que el cuerpo produce por sí mismo, en lugar de introducir sustancias adicionales.


Otro método para detectar el dopaje es la espectrometría de masa. La prueba consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por una muestra de sangre u orina, convirtiéndola en vapor e ionizando los átomos y moléculas de los elementos que componen la muestra.

Estas partículas viajan a través de un espectrómetro, aparato que separa los iones en función de su relación carga/masa, haciéndolos pasar por un campo magnético y calcula el número de iones con una misma relación. Como ya se sabe la relación de distintos esteroides y químicos -incluidos los iones producidos por la sustancia de dopaje-, se puede determinar la concentración de estas sustancias en los fluidos corporales bajo prueba y presumir, en su caso, que son producto de dopaje.

Diferentes variaciones de estos dos métodos se utilizan para cuantificar con exactitud los componentes en las muestras de los atletas y determinan si un deportista está utilizando una sustancia prohibida para mejorar su desempeño.

Independientemente del método, se requiere confiabilidad en las mediciones que soportan el análisis. Para ello es necesario el uso de materiales de referencia certificados. Estos materiales de referencia tienen un valor conocido y se utilizan ya sea como estándares de calibración o estándares de control para el método de análisis. Así, cuando se detecta un dopaje habrá confianza en los resultados de los análisis y en el veredicto correspondiente. Esto es crucial, ya que por un lado la detección segura de dopaje





La espectrometría de masa es uno de los métodos utilizados para detectar dopaje. Una corriente eléctrica convierte las muestras en iones y vapor, los cuales viajan por el espectrómetro y un campo magnético los separa en función de su relación carga/masa.  
Foto: Silvana Demicheli

es indispensable para mantener el espíritu deportivo en las competencias y por otro lado se evitan falsos resultados, que pueden poner en juego el nombre y la carrera profesional de deportistas injustamente.

## Ágil, fuerte, rápido y tramposo

El dopaje deportivo emplea métodos distintos para lograr resultados similares. Para efectos prácticos, los dividiremos en el uso de estimulantes, esteroides y sanguíneos.

Los estimulantes son varios grupos de medicamentos y drogas que aumentan la atención y la actividad física. Incluyen fármacos como las anfetaminas, la droga cocaína e incluso la cafeína que viene en una taza de café. Aunque por supuesto el café no es un estimulante prohibido en competencia por sus bajos efectos en el cuerpo, las anfetaminas y otras drogas ilícitas sí lo son.

Las anfetaminas son la sustancia de la que más abusan los atletas. Suelen ser recetadas por los médicos para contrarrestar los efectos de una enfermedad autoinmune que ocasiona episodios de sueño repentino durante el día (la narcolepsia) y otros trastornos neurológicos. Ya que aumentan el ritmo cardíaco y de respiración, las anfetaminas incrementan la lucidez y el desempeño físico. En su uso ilícito son utilizadas principalmente por atletas que buscan aumentar su potencia muscular rápidamente y seguir activo por más tiempo durante una competencia.

Sin embargo, las anfetaminas son psicológicamente adictivas. Tras pasar su efecto, sus consumidores experimentan un bajonazo en su ánimo, por lo que se crea una dependencia para mantener ese estado mental alterado

lo que a veces lleva a consumir dosis cada vez más altas o al consumo de drogas más poderosas como la cocaína.

No creas que el uso de anfetaminas no produce consecuencias inmediatas. Efectos secundarios como ansiedad, visión borrosa, somnolencia y mareos son muy comunes. El abuso de anfetaminas puede incluso causar arritmias cardíacas y la muerte.

Otros atletas buscan aumentar su fuerza y musculatura, por lo que recurren al uso de esteroides anabólicos androgénicos. Estos medicamentos solo se obtienen bajo prescripción médica, cuando el cuerpo produce niveles anormalmente bajos de testosterona y se utilizan en pacientes con enfermedades que conducen a la pérdida de masa muscular, como el sida.

Su propósito es estimular la aparición de características propias del cuerpo masculino, pues imitan los efectos de las hormonas sexuales masculinas, particularmente la testosterona. Su uso se volvió común en las competencias de fisicoculturismo, pues ayudan a aumentar la masa muscular y la fuerza drásticamente.

Al imitar los efectos del exceso de testosterona en un cuerpo sano, los hombres experimentan infertilidad, calvicie, encogimiento de los testículos y un riesgo elevado de cáncer de próstata. Las mujeres en cambio sufren crecimiento de vello facial, calvicie, trastornos del ciclo menstrual (incluyendo la menopausia temprana) y engrosamiento de la voz.

Adicionalmente, el abuso de los esteroides anabólicos produce tumores de hígado y cáncer, retención de fluidos y presión alta. Los niveles altos de testosterona también tienen efectos mentales y pueden producir episodios de euforia y violencia.

## De última generación

Existe una modalidad avanzada de dopaje que busca mejorar el desempeño físico –principalmente en deportes que requieren mucha energía durante largos períodos– a la vez que esquivar la detección de sustancias prohibidas en la sangre.

Actualmente hay tres maneras con las que se buscan estos efectos: el uso de eritropoyetina (EPO), de transportadores sintéticos de oxígeno y las transfusiones de sangre. Todos estos intentan aumentar la cantidad de glóbulos rojos en la sangre.

La eritropoyetina es una hormona que propicia el proceso de producción de glóbulos rojos (eritropoyesis). Suele utilizarse en pacientes con anemia, para mejorar el transporte de oxígeno desde los pulmones hacia todo el cuerpo.

Los glóbulos rojos transportan oxígeno a todas las partes del cuerpo que lo requieren, incluyendo los músculos. Tener más glóbulos rojos significa tener más oxígeno circulando por la sangre, lo cual mejora el desempeño y ayuda a disipar la fatiga en deportes de resistencia.

Los transportadores de oxígeno sintéticos son proteínas o químicos que actúan como glóbulos rojos, por lo que su uso tiene los mismos efectos que el tratamiento con eritropoyetina.

Y por último, algunos atletas recurren a las transfusiones de sangre, ya sea de otras personas (transfusión heteróloga) o de provisiones que ellos mismos se hayan extraído y guardado para un uso futuro (transfusión autóloga).

Las pruebas de dopaje más avanzadas están intentando detectar el uso de transfusiones para potenciar el rendimiento. Estas pruebas identifican la presencia de sangre proveniente de transfusiones heterólogas o autólogas y la concentración de glóbulos rojos: cuánta hemoglobina hay por mililitro de sangre.

En ciertas ocasiones, sin embargo, basta observar al atleta que presenta efectos secundarios de algunas de estas sustancias o un aumento anormalmente rápido en la musculatura o en el desempeño deportivo, para sospechar que hay una sustancia ilícita involucrada.

Como te contamos anteriormente, las organizaciones deportivas en todo el mundo ya se han pronunciado y establecido reglamentos para prohibir y sancionar el uso de sustancias prohibidas.

En el fútbol, la FIFA ha reportado pocos casos de uso de drogas para mejorar el desempeño atlético y en cambio registra más casos del uso de drogas recreativas como la marihuana, que también están prohibidas. No obstante, las pruebas aleatorias en competencias como la Copa Mundial de Fútbol y en los torneos de las federaciones de fútbol de cada país se hacen cada vez con mayor frecuencia.

Detectar el uso de sustancias prohibidas en los futbolistas también expone al club en que juegan a sanciones monetarias y deportivas, como la descalificación.

Como ves, el dopaje es un tema delicado, que arruina carreras prometedoras en el deporte, destruye sueños y puede poner en peligro la vida de quienes recurren a él para obtener las ventajas que podrían conseguir con esfuerzo, disciplina y práctica.

JASSON CLARKE (COSTA RICA)

Foto página 14: Medicina para doparse © flashpics - Fotolia.com  
Foto página 15: pastillas y píldoras © fotoknips - Fotolia.com



La automatización del espectrómetro de masa permite que el equipo trabaje en forma continua sin la intermediación de una persona. Foto: Valentina Guarinoni





Cuánto deben medir los campos de fútbol oficiales es algo fácil de responder. Pero controlar que cumplan con las dimensiones especificadas es una tarea exigente y delicada que requiere la intervención de profesionales expertos en mediciones y el uso de equipamiento calibrado.





**La cancha**



# Midiendo campos

## De Charles Miller hasta la Copa Mundial de Fútbol de 2014

Oficialmente el fútbol surgió en las universidades públicas de Inglaterra durante la primera mitad del siglo XIX y practicado por los jóvenes de la entonces naciente élite industrial británica, pronto fue adoptado por las escuelas americanas que admitían ejercicios físicos y se convirtió en un fenómeno mundial, tanto que hoy en día es considerado el deporte más practicado en todo el mundo.

Se le atribuye a Charles Miller la introducción del fútbol organizado en Brasil. A su regreso al país en 1884, después de haber ido a estudiar a Inglaterra, Miller trajo en su equipaje dos pelotas (balones) y un libro de reglas establecidas en 1848 en ese país. Hacia finales de los años 20, el fútbol era también un deporte de élite en Brasil. Los campeonatos estatales y la propia selección brasileña eran formados por clubes como el *Paulistano* y el *Mackenzie College*, de Sao Paulo y el *Río Cricket*. Pero, aún estando apartados de las disputas oficiales y de los clubes, pobres y negros practicaban el deporte en campos de tierra y terrenos baldíos. Así, el fútbol se consolidó como el deporte más practicado en el país en el último siglo, sobre todo después de la conquista de los campeonatos mundiales de 1958, 1962 y 1970. Hoy en día, el fútbol es uno de los mayores fenómenos culturales de Brasil, practicado en todos los estratos sociales, desde los clubes privados de élite hasta las precarias canchas de barrio. Desde entonces, Brasil reveló grandes cracks, es el único país que ha participado de todas las copas mundiales y el único pentacampeón.

A partir de 1970, con la consolidación del campeonato nacional disputado por los principales equipos de todas las regiones del país, el fútbol se ha convertido en un deporte de masas que despierta la pasión de casi todos los brasileños de todas las edades. En el imaginario nacional, el fútbol es la traducción de nuestra alegría, personalidad e irreverencia.

Deporte simple y barato, requiere un campo, jugadores para formar dos equipos, dos postes y una pelota. En Brasil, casi todos los chicos pasan su infancia jugando al fútbol con los amigos, ya sea en canchas de barrio de tierra afirmada o en las canchas de los clubes y colegios. El sueño de convertirse en jugador de fútbol permea la imaginación de casi todos los adolescentes, especialmente los de las clases menos favorecidas que desean realizarse profesionalmente y un día jugar en la selección nacional siendo el número 10 de Brasil, como Pelé, Zico, Ronaldo, Romário y actualmente Neymar.

Con la realización de la Copa del Mundo de 2014 en Brasil, los amantes del deporte recuerdan las grandes jugadas del equipo brasileño, que fueron muchas. La primera conquista del campeonato mundial en 1958, en Estocolmo, con goleada de 5 a 2 sobre Suecia, sirvió para compensar la tristeza, todavía presente en los corazones brasileños, por la derrota en el *Maracanã*, en 1950. La selección de 1958 con Garrincha, Didí, Nilton Santos, Pelé, Djalma Santos, Zagallo y Vavá, entre otros, mostró al mundo que era el país del fútbol. A pesar de la pobre actuación de Brasil en la última Copa del Mundo, el fútbol sigue siendo el deporte más practicado y amado en el país.

Una encuesta realizada en junio de 2012, comprobó lo que el sentido común ya insinuaba: el fútbol es realmente la mayor pasión de los brasileños: 77 % señalan el fútbol al responder a la pregunta “¿Cuáles son las grandes pasiones de los brasileños?” El fútbol es la primera pasión citada, tanto entre los hombres (82 %), como entre las mujeres (72 %). En los días de partido, principalmente en las tardes de domingo, comprobando esta verdadera pasión nacional, los hinchas llenan las gradas de los estadios vistiendo la camiseta de su equipo, cargando banderas y entonando los himnos o “gritos de guerra” de sus clubes. Y no hay corazón que aguante la emoción, ni voz para vibrar con cada lanzamiento y cada gol.

## ¿Quién dicta las reglas del juego?

Para elaborar las reglas del fútbol fue creada, el 2 de junio de 1886, la *International Football Association Board (IFAB)*, con representantes de Escocia, Inglaterra, Irlanda y País de Gales. Hasta la fecha el objetivo de la IFAB es “preservar las reglas de juego, supervisar su aplicación, estudiarlas y, eventualmente, modificarlas”.

En mayo de 1904, siete países se reunieron en París para crear la *Fédération Internationale de Football Association (FIFA)*. En 1906 la IFAB se afilió a la FIFA, y en 1913 la FIFA se hizo miembro de la IFAB.

La última versión de las reglas fue modificada en la 128ª reunión anual de la IFAB, el día 1º de marzo de 2014 en Zurich, cuando fue aprobada la utilización de complementos para la sujeción del cabello y se prohibió ostentar *slogans*, declaraciones e imágenes, tanto en los uniformes oficiales como en la ropa interior de los jugadores (Regla 4 – Equipo de los Jugadores). Otro punto importante aprobado en esa reunión es la próxima elaboración de un glosario, que ayudará a esclarecer de forma objetiva las normativas del fútbol. Las nuevas reglas entraron en vigor el día 1º de junio de 2014, para la Copa Mundial de fútbol en Brasil.



## Influencia de las dimensiones de los campos en la calidad del espectáculo

“Vamos a jugar de una manera, en una retranca<sup>1</sup> a ultranza, dependiendo de un casual contragolpe y si perdemos, perdemos; aunque mejor es ganar” señaló recientemente el técnico de un equipo que enfrentaría al poderoso *Barcelona* de España.

En un partido de fútbol, una pequeña diferencia de altura del travesaño puede ser decisiva para marcar un gol y en consecuencia para el resultado de un partido. Además, un campo más pequeño, fuera de las dimensiones oficiales, favorece las llamadas retrancas, utilizadas por los equipos más débiles con esquemas ultra defensivos y sin calidad, consideradas a menudo desagradables por los aficionados ávidos por bellas jugadas y goles bonitos.

En 2006, a pedido de la Confederación Brasileña de Fútbol (CBF), el Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología (Inmetro) efectuó mediciones en nueve de los principales estadios de fútbol de Brasil. El objetivo de la CBF era garantizar la infraestructura de los estadios y



Técnicos de Inmetro realizaron mediciones de los postes de nueve estadios oficiales de Brasil, para asegurar el cumplimiento de la normativa sobre infraestructura de los estadios.  
Foto Cedida por Martha Guimaraes

<sup>1</sup>defensa

la correcta dimensión de los campos de fútbol, donde son disputados los más importantes partidos del campeonato brasileño. Se realizaron mediciones en las dimensiones de los campos de fútbol y en los postes de las metas, que es el objetivo primario de todo atleta del fútbol durante los partidos.

## Superficie de juego y dimensiones



Dimensiones oficiales de campos de fútbol. Ilustración: Alberto Parra del Riego

Los partidos podrán jugarse en superficies naturales o artificiales, de acuerdo con el reglamento.

El campo de juego de fútbol es rectangular, teniendo su largo y su ancho límites máximos y mínimos definidos por el documento de reglas del juego (*Laws of the game: 2005 - International Football Association Board*), en el cual se establecen las siguientes especificaciones:

- Longitud (línea de banda): mínimo 90 m y máximo 120 m
- Ancho (línea de meta): mínimo 45 m y máximo 90 m
- La longitud de la línea de banda deberá ser superior a la longitud de la línea de meta.
- Todas las líneas deberán tener el mismo ancho: como máximo 12 cm.

## Mediciones de los postes y travesaño

Según establecen las reglas, las metas consistirán en dos postes verticales, equidistantes de los banderines de esquina y unidos en la parte superior por una barra horizontal (travesaño). Los postes y el travesaño deberán

ser de madera, metal u otro material aprobado. Podrán tener forma cuadrada, rectangular, redonda o elíptica y no deberán constituir ningún peligro para los jugadores. La distancia entre los bordes internos de los postes será de 7,32 metros y la distancia del borde inferior del travesaño al suelo será de 2,44 metros.

Es importante mencionar que al especificar una medida es recomendable definir una tolerancia, es decir, se debe definir qué desviación del valor requerido se va a aceptar. Por otra parte, toda medición tiene una incertidumbre asociada, debido a factores tales como la exactitud del instrumento utilizado, el procedimiento que aplica el responsable de la medición e, inclusive, a las circunstancias en que la medición es efectuada. Para esta medición se determinó una incertidumbre de  $\pm 1$  cm (Ver Figura 1).

Los resultados obtenidos en las mediciones de la distancia horizontal entre los postes (puntos de medición 1-11, 2-10 y 3-9) (ver figura 2), mostraron resultados aceptables en los nueve estadios donde se realizó la medición. Esto es, ninguna distancia entre los postes analizada presentó una diferencia porcentual significativa entre el valor medido y el valor oficial para la distancia entre los postes. Todas las diferencias fueron inferiores a 1 %, que fue la tolerancia máxima admitida para la distancia entre los postes de acuerdo con las reglas de la IFAB.

Las mediciones verticales en cambio (distancias entre puntos del travesaño y el suelo), fueron un poco más complejas, incluso por las dificultades en la medición debido a los desniveles del terreno y la altura del césped bajo la meta (que provoca variaciones en las medidas). Esta fue una de las razones para medir en cinco diferentes puntos.

Figura 1

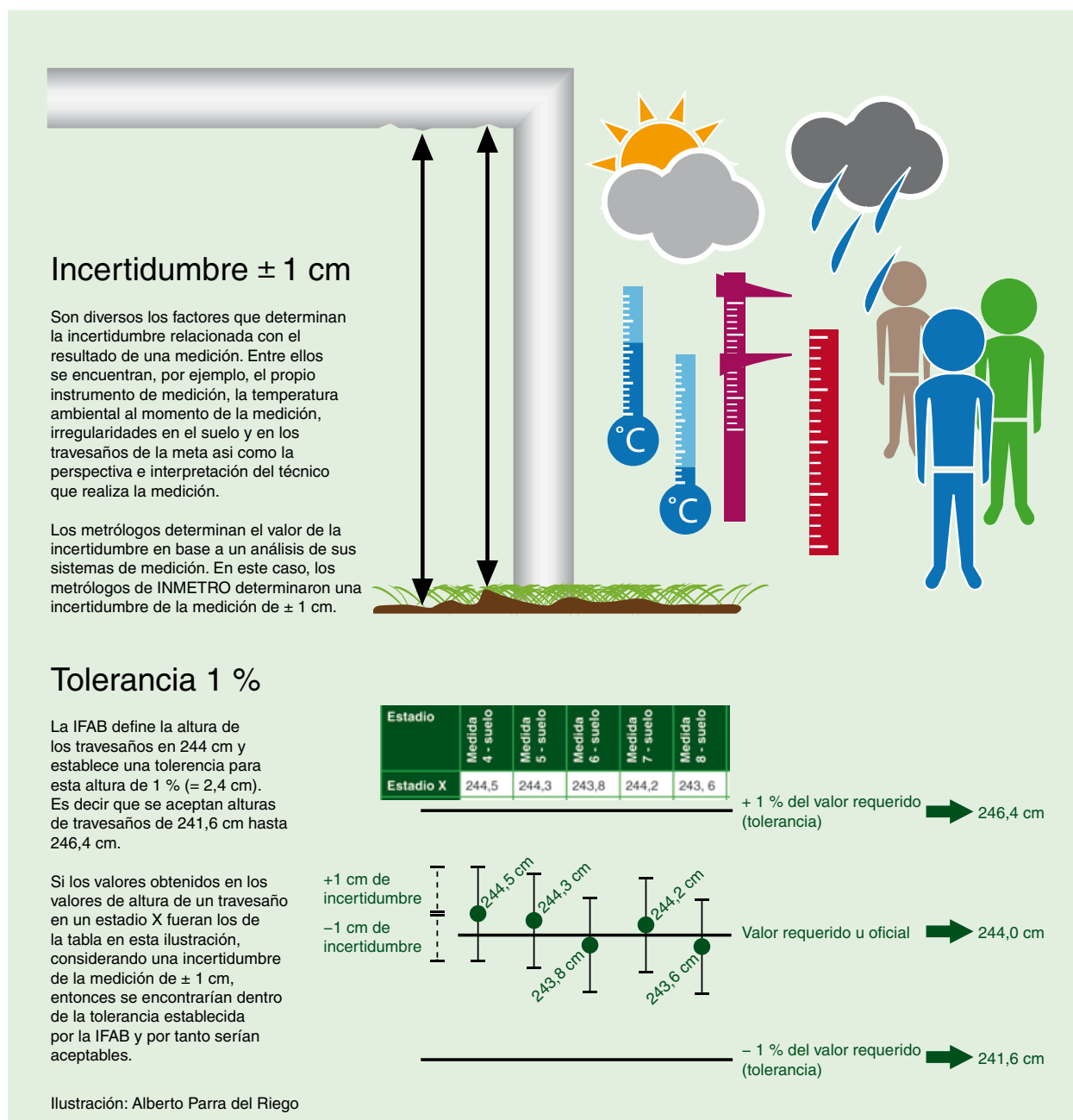
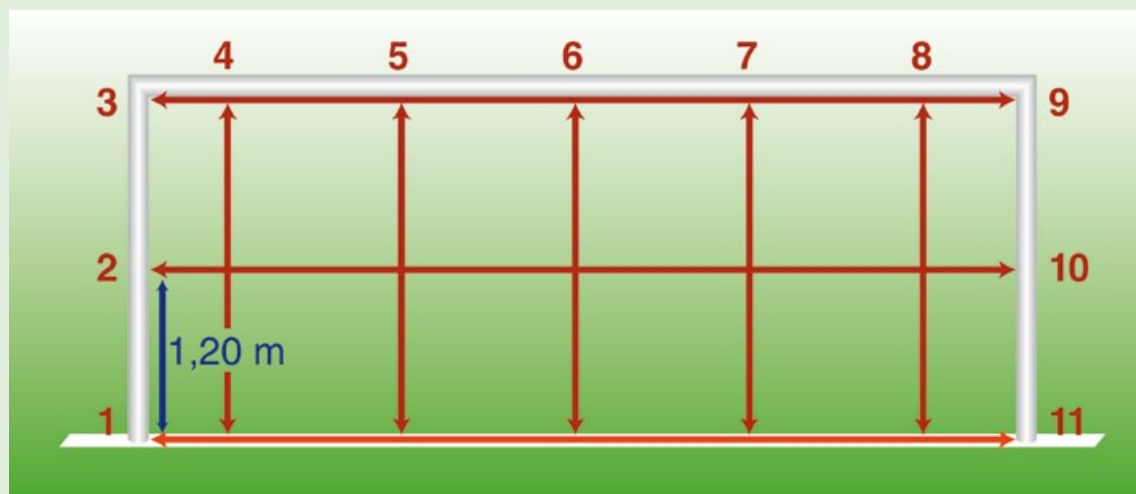


Figura 2

## Puntos de medición



Esquema de los puntos de medición definidos para los controles de medidas de las metas realizados por Inmetro en los campos de fútbol oficiales de Brasil. Ilustración cedida por Inmetro.

Tal como surge en los resultados de los nueve estadios medidos (ver Tabla 1), ocho de ellos presentaron una diferencia porcentual de por lo menos 1 % en una de las medidas de la altura del travesaño. El estadio 4 presentó siempre el valor más alto y el estadio 9, en la mayoría de las ocasiones, el valor más bajo.

Aunque los resultados de las mediciones pareciesen haber sido satisfactorios, las diferencias constatadas en los puntos analizados mostraron la necesidad de ajustes y correcciones en seis estadios.

Este programa de Inmetro probablemente continuará en los próximos años en todos los estadios utilizados en las series A y B del Campeonato Brasileño, estableciendo patrones mínimos de variaciones, conforme las reglas de juego de la FIFA y de la IFAB, contribuyendo así a la calidad del espectáculo y del deporte que es una verdadera pasión en Brasil y tantos otros países.

MARTHA GUIMARÃES (BRASIL)

Tabla 1 - Mediciones verticales entre travesaño y suelo						Valor oficial: 2,44 m				
Estadio	Mediciones en meta a la izquierda de la cabina (metros)					Mediciones en meta a la derecha de la cabina (metros)				
	Medida 4 - suelo	Medida 5 - suelo	Medida 6 - suelo	Medida 7 - suelo	Medida 8 - suelo	Medida 4 - suelo	Medida 5 - suelo	Medida 6 - suelo	Medida 7 - suelo	Medida 8 - suelo
Estadio 1	2,45	2,44	2,44	2,45	2,44	2,45	2,44	2,44	2,45	2,45
Estadio 2	2,44	2,42	2,41	2,40	2,39	2,43	2,41	2,41	2,39	2,39
Estadio 3	2,43	2,42	2,42	2,42	2,43	2,42	2,41	2,42	2,42	2,43
Estadio 4	2,51	2,50	2,47	2,47	2,47	2,47	2,48	2,45	2,45	2,47
Estadio 5	2,44	2,43	2,43	2,43	2,42	2,43	2,44	2,43	2,43	2,43
Estadio 6	2,41	2,41	2,37	2,38	2,41	2,44	2,42	2,41	2,41	2,41
Estadio 7	2,42	2,42	2,41	2,41	2,42	2,42	2,42	2,41	2,41	2,42
Estadio 8	2,44	2,43	2,43	2,42	2,44	2,43	2,42	2,43	2,44	2,44
Estadio 9	2,39	2,39	2,39	2,40	2,40	2,40	2,41	2,39	2,38	2,40





# Paramédicos y equipos: dúo que salva vidas

La participación de estos profesionales de la salud y el uso adecuado de los aparatos médicos en los estadios de fútbol es fundamental para cuidar la integridad física de los jugadores. En la conjunción de estos dos factores, la metrología contribuye a garantizar la atención de las emergencias en los campos de juego y los tratamientos posteriores.

El fútbol no solo es un gol de alguno de los mejores jugadores en la final de Liga de Campeones de Europa o de la Copa Mundial de fútbol. En medio de este espectáculo que mueve millones de euros y de aficionados que acompañan a los equipos y selecciones nacionales con pasión, con frecuencia aparece un visitante indeseado que causa dolor pasajero o permanente en los hinchas y hasta luto. Se trata de las lesiones, producidas en pleno partido por la disputa de un balón, la fuerza excesiva de un rival o fallas intempestivas en la salud del jugador.

La atención de estas situaciones es importante por el impacto que pueden causar en una sociedad. Por ejemplo, en Estados Unidos, según la Academia Estadounidense de Pediatría (AAP, por su nombre en inglés), anualmente 75 000 niños entre 5 años y 14 años reciben atención en las salas de emergencias por lesiones sufridas en el fútbol inglés o soccer y en Argentina, según un estudio de la Asociación de Fútbol Argentino (AFA) entre 1997 y 2000, el 29,9 % de las lesiones sufridas por los jugadores de las selecciones nacionales en las categorías Sub-17, Sub-20 y mayor comprometió su rodilla y el 23,7 % el muslo.

Para responder con éxito ante estos hechos, la organización de los partidos de alto rendimiento o torneos profesionales debe disponer de un equipo de profesionales en la salud, en el que participa el paramédico (persona con formación profesional, técnica o tecnológica dependiendo del país). Su misión es atender a los pacientes al lado del médico y con el uso de equipos especializados detectar, dar respuesta, reportar, brindar cuidados en el lugar y, si es necesario, transportar al paciente a un centro médico u hospital.

En la cancha de juego, el primer paso en la atención, según relata John Jiménez, paramédico de la Escuela de Salud FUSDESA (Colombia), es valorar el estado de conciencia del afectado para lo cual le hacen una serie de preguntas.

Este paso es el preámbulo de atención del cuerpo de auxiliares que prosigue con la medición de la frecuencia cardíaca y la frecuencia respiratoria, acciones en las que debe hacer uso de aparatos como el pulsímetro (también conocido como esfigmómetro) o el frecuencímetro cardíaco para el primer caso y los estetoscopios en el segundo. “Estas mediciones se hacen para saber el estado inicial del paciente con el fin de determinar los pasos a seguir, si debe ser trasladado para recibir asistencia médica prioritaria o no”, explica el especialista.

De acuerdo con Álvaro Bermúdez, subdirector encargado de Metrología Física del Instituto Nacional de Metrología de Colombia, esta ciencia contribuye con el accionar de los paramédicos desde dos vías. La primera incluye la medición de las características del terreno: su longitud, perímetro, planitud, humedad, declive, altura del césped, entre otros. Son factores –supervisados por las autoridades deportivas o las que manejan los escenarios deportivos– que pueden, por ejemplo, “provocar que el jugador tenga una lesión aún caminando”. En esto la metrología asiste de manera evidente en la prevención de accidentes.

La segunda vía es la mecánica del cuerpo, relacionada con la preparación física del deportista, la cual se puede comprobar gracias al monitoreo periódico utilizando equipos médicos que deberán estar debidamente trazados a los patrones establecidos internacionalmente. Aquí la ciencia de las mediciones es importante para identificar el estado de dicha preparación.

El diagnóstico cierto a través de estos medios permite al jugador controlar su preparación para luego demostrar el máximo de sus capacidades ante sus colegas y la afición, brindando un espectáculo digno de elogio.

Ilustración de fondo página 24-25: Alberto Parra del Riego  
Foto en ilustración página 24: paramedics rushing patient into an ambulance © wellphoto - Fotolia.com



## Equipamiento: el aliado

Tan fundamental como el conocimiento e inmediatez de los paramédicos para detectar cualquier anomalía en la salud del paciente-futbolista y el protocolo a seguir (que puede variar según cada legislación) un factor crítico que incide en la efectividad del proceso de atención es el equipamiento médico y su correcta calibración.

Por ejemplo, para situaciones extraordinarias como un paro cardiorrespiratorio (que en el fútbol ha provocado la *muerte súbita*—como se le denomina en el ámbito médico—) se debe aplicar una reanimación cardiopulmonar, acción que tiene prevista una serie de procedimientos y el uso de equipo electromecánico, materiales y fármacos. El material básico requerido es un monitor-desfibrilador automático externo con electrodos, equipos de vía aérea como mascarillas y accesorios.

Ante un corazón que puede dejar de latir intempestivamente debido a la tensión y el estrés de un partido que define un campeonato y genera millones de dólares en publicidad y taquillas, a la influencia del clima (muchas veces extremo según el sitio donde sea el juego) o simplemente por una falla fisiológica interna del deportista, el uso del desfibrilador automático es fundamental y puede ser la diferencia entre la vida y la muerte.

En el momento que se presenta la falla cardíaca en el jugador se debe actuar rápido (el margen es de tres a cinco minutos para realizar el procedimiento) y así lo saben los paramédicos, que deben usarlo tal como indican las instrucciones.

El desfibrilador permite aplicar corrientes breves y frecuentes de energía de alto voltaje que detienen la arritmia cardíaca. Aunque lo ideal es que sea usado por expertos como los paramédicos, el diseño del desfibrilador permite que sea empleado por cualquier persona. En la parte frontal del aparato están dibujados los números 1 a 3 que indican los pasos a seguir. Algunos modelos incluso tienen la ventaja de contar con una voz pregrabada que va orientando a la persona en los pasos que se deben cumplir para atender al paciente.

El protocolo de atención indica que se deben poner los dos electrodos en el pecho desnudo del jugador-paciente tendido en el suelo: el primero en la parte superior derecha del pectoral mayor y el otro debajo de la tetilla opuesta. El siguiente paso es conectar los electrodos y la luz intermitente. A partir de ese momento la máquina actúa casi sola y hace el diagnóstico que permitirá establecer si es necesario pasar al tercer paso que devuelve, casi inmediatamente, el ritmo normal al corazón del paciente-futbolista.

Mauricio Serrato, médico deportólogo y director del Centro Biomédico del Centro de Alto Rendimiento del Instituto Nacional del Deporte de Colombia (COLDEPORTES), valora este punto del protocolo aplicado por el cuerpo de atención a los deportistas como fundamental para garantizar que la salud del afectado vuelva al curso normal o tomar otras medidas extraordinarias en caso necesario.

## El desfibrilador

El desfibrilador es un equipo para la atención de emergencias cardíacas, que está diseñado para poder ser utilizado por cualquier persona y permite dar asistencia inmediata ante fallas cardíacas. Dos parches con electrodos se colocan en determinados puntos del pecho del asistido y el propio equipo realiza mediciones y determina si es necesario aplicar corrientes de energía de alto voltaje que permitan devolver el ritmo cardíaco al corazón.

Foto: José Luis Barragán





“El aparato detecta si el ritmo que están registrando los electrodos sobre el pecho del paciente corresponde a una fibrilación ventricular y él mismo se encarga de aplicar las descargas”, comentó este especialista que durante su trayectoria profesional ha asesorado a equipos profesionales de fútbol y de otras disciplinas deportivas.

A partir de tantos casos que ocasionaron muertes de jugadores, en el Congreso de la FIFA de mayo de 2012 se propuso que la FIFA entregara un desfibrilador a cada una de las asociaciones miembro y el presidente del organismo, Joseph Blatter, lo aprobó.

## El cuidado de los equipos

Es importante señalar que la calidad del diagnóstico y la efectividad del posterior tratamiento y rehabilitación de los jugadores requiere que los equipos e instrumentos médicos ofrezcan resultados confiables.

El aseguramiento de la precisión de los aparatos como el desfibrilador u otros como los monitores clínicos, termómetros médicos, electrocardiógrafos (que sirven para medir el ritmo de los pulsos de los futbolistas lesionados)

o el esfigmomanómetro (instrumento que mide la presión arterial), lo garantiza la metrología. Como consecuencia de la utilización de equipos que se encuentran bien calibrados, la salud de los afectados corre menos riesgos. Para ello es fundamental su control periódico, el cual dependerá, entre otros, del grado de peligro que pueda representar para el paciente que el instrumento produzca datos incorrectos.

La calibración de los equipos en Colombia se debe realizar en lugares especializados donde tanto los procedimientos, los equipos patrones y el personal profesional que participa en el proceso han sido previamente autorizados a hacerlo por la autoridad correspondiente en el campo de la metrología.

Frente a la aparición de ese visitante indeseado que causa dolor pasajero o permanente en los estadios y fuera de los mismos, el paramédico y un equipamiento técnico en correctas condiciones se convierten en los vigías de la salud de los futbolistas. Además, gracias a la metrología dentro y fuera del estadio, su diagnóstico y posterior tratamiento será el adecuado y ayudará a que el jugador afectado se recupere y regrese a un desempeño normal.

JOSÉ LUIS BARRAGÁN (COLOMBIA)

## Instrumentos para la vida

La frecuencia cardíaca y pulmonar son dos acciones inherentes al accionar cotidiano del cuerpo humano y de importancia capital en la salud de las personas. La primera está definida por el número de contracciones que realiza un corazón por minuto, mientras que la segunda, por el número de veces que se inspira y expira en 60 segundos.

Para controlar estos comportamientos se requiere de equipos médicos. Para la frecuencia cardíaca se usa el pulsímetro o el frecuencímetro cardíaco. Para el monitoreo de la frecuencia pulmonar, el estetoscopio.

El pulsímetro es una especie de reloj con múltiples funciones

que mide esencialmente el número y la frecuencia de los movimientos del pulso. Este tipo de equipos son fabricados ahora de forma más completa, exacta y confiable.

En el caso de los estetoscopios, estos son instrumentos médicos que sirven para escuchar los sonidos del cuerpo humano. Un estetoscopio está compuesto por las olivas (auriculares ajustables a las orejas), las ojivas (tubos que unen las olivas al cuerpo del equipo), el tubo acústico que une las ojivas a las campanas, y la campana. Este último es el que se coloca en el pecho del paciente con el fin de captar las vibraciones que se producen en los pulmones cuando se llenan de aire. Por ejemplo, un pulmón sano tiende a sonar vacío, mientras que uno que esté lleno de fluidos no lo hará.



Pulsímetro electrónico © pandpstock001 - Fotolia.com

Estetoscopio © Arrows - Fotolia.com







# Con prisa y sin pausa

La acelerada velocidad con que se llevan a cabo las jugadas hace del futsal o fútbol de salón un deporte intenso para los que lo juegan y emocionante para quienes lo observan. El simple traslado de las canchas enormes a un área pequeña determina una serie de variaciones en las que las mediciones y conteos se convierten en un requisito para el disfrute.

A simple vista, un partido de futsal podría ser confundido con un encuentro de fútbol, pero las diferencias entre ambos deportes van bastante más allá de que el primero sea un juego de salón, que en vez de jugarse al aire libre y sobre una cancha de césped, tenga por escenario un espacio cerrado y por área de juego una superficie lisa, libre de asperezas, que suele ser de madera o de algún material sintético.

El tema de las medidas es aquí fundamental, pues el reglamento que ha elaborado la FIFA para establecer las formas oficiales para la práctica del futsal está lleno de ellas. El documento dice, por ejemplo, que el espacio de juego debe tener entre 25 y 42 metros de largo y entre 16 y 25 metros de ancho si se trata de encuentros nacionales, pero entre 38 y 42 metros de largo y de 20 a 25 metros de ancho cuando los partidos enfrentan a equipos de diferentes países. Del mismo modo, define que la distancia entre los postes del arco debe ser de 3 metros y que el travesaño no debe estar a más de 2 metros de distancia del suelo. El espesor de la estructura que sostiene la red debe tener 8 centímetros. De idéntica manera, están claramente establecidas las dimensiones que deben tener las áreas de penal y de esquina así como las zonas de las sustituciones de jugadores.

También la pelota está sujeta a dimensiones establecidas por el reglamento, pues su circunferencia debe estar comprendida entre los 62 y los 64 centímetros y su masa no debe superar los 440 gramos ni ser menor a 400 gramos al inicio del cotejo. Por si estos requerimientos

fueran poco, el balón debe tener una presión entre 0,6 y 0,9 atmósferas (607,95 hPa-911,92 hPa) al nivel del mar, y en su primer rebote –efectuado desde una altura de dos metros– no deberá rebotar menos de 50 centímetros, ni más de 65.

## Pases sin respiro

Dado que el espacio de juego del futsal es evidentemente más reducido que aquel en el que se desarrollan los partidos de fútbol, los pases se producen de forma constante entre los diez jugadores –cinco por cada equipo– que, exceptuando al arquero, se mantienen en permanente movimiento durante los 20 minutos efectivos de juego que dura cada tiempo. “Técnicamente es un deporte mucho más rápido. Como el espacio es más corto y somos menos los jugadores, la táctica más común es la de “todos suben y todos bajan”, lo que significa que si el equipo ataca, todos subimos sin dejar espacios. Yo diría que en el futsal los jugadores no tenemos tiempo para darnos un respiro en pleno partido, pues hay que estar en movimiento constante”, comenta el “futsalista”, Iván Peña.

Las únicas treguas las ofrecen los breves intervalos en los que, para garantizar que los 20 minutos sean de pases, el

árbitro detiene el avance de su más cercano compañero de jornadas: el cronómetro. Este instrumento, que puede ser analógico o digital, le sirve para controlar la duración exacta del partido. Será más preciso mientras más pequeñas sean las porciones de segundo –décimas, centésimas o milésimas– que sea capaz de medir pero, en cualquier caso, debe estar cuidadosamente calibrado.

En el laboratorio que para esos fines tiene el Servicio Nacional de Metrología del Perú, se calibran estos medidores de intervalos tomando como referencia patrones cuyo grado de exactitud es elevado. “Que un cronómetro esté calibrado significa que tiene una trazabilidad, que ha sido referenciado, o que ha sido medido contra otro de mejor característica, y ese comparado con otro, también de mayor rendimiento, y así sucesivamente, a lo largo de lo que llamamos cadena de trazabilidad”, explica el especialista Henry Díaz. Asimismo comenta que, como en el fútbol, la medición de tiempos y frecuencias resulta fundamental en industrias cuyos procesos deben tener una duración precisa para generar determinados resultados.

Según el estudio *Demanda fisiológica durante el juego de fútbol de salón, a través de la distancia recorrida*, elaborado por varios profesores brasileños de fútbol y especialistas del Centro de Estudios de Laboratorio de Aptitud Física de San Caetano del Sur (Brasil), el volumen de oxígeno que un jugador consume durante los 40 minutos que dura un encuentro fluctúa entre los 60 y 70 mililitros por kilogramo por minuto ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ); la frecuencia cardíaca promedio es de 172 latidos por minuto; y la distancia que recorren los deportistas es de 4658 metros para los defensas, 7180 para los aleros y 3543 en el caso de los atacantes. A lo largo de este recorrido, estos tocan la pelota alrededor de 48 veces.

Estadísticas de otros conocedores del tema, como el profesor Nicolino Bello autor del libro *Conceptos modernos del fútbol*, aseguran que un equipo que logra realizar el 71 % de los pases y el 68 % de los disparos que se hacen durante un partido, difícilmente será derrotado.

“En un espacio reducido las marcas llegan rápido, entonces la obligación es pasar rápido la pelota para evitarlas, y normalmente el balón regresa inmediatamente”, explica el entrenador peruano Carlos Garrido, quien considera al fútbol de salón un medio inmejorable para educar en lealtad y compromiso a las personas, pues el afán de alcanzar el objetivo propuesto convierte en imperativo el trabajo sincronizado así como el cuidado mutuo entre los integrantes de un mismo equipo.

## Alta demanda física

A decir del entrenador, tales demandas exigen del jugador gran capacidad física, especialmente potencia, aunque también resistencia, equilibrio, ritmo, coordinación general, velocidad y fuerza, así como un buen conocimiento de las labores biomecánicas; es decir, desarrollar buenos hábitos motores a partir de las posibilidades de movimiento que ofrece el cuerpo humano.

La capacidad de atención y alerta también son determinantes, pues en el fútbol las situaciones cambiantes son la única constante. Conforme avanza el marcador el partido aumenta en intensidad, se van dando los cambios estratégicos produciéndose momentos de equilibrio y concentración hasta arribar al momento decisivo que dará por fruto el resultado final. Mientras todo esto ocurre, los jugadores no solo rotan en las posiciones, cumpliendo diferentes funciones en el encuentro (fijo, alero y pivot) sino que también pueden ser cambiados sin los anuncios típicos del fútbol. El arquero sí está definido pero, según el reglamento, cualquiera de los jugadores puede cambiar su puesto con él.

No es de extrañar entonces que los entrenamientos con los equipos del fútbol sala incluyan exámenes médicos, evaluaciones físicas y la constante puesta a prueba de los grados tanto de técnica como de táctica y de los rasgos psicológicos de los jugadores.



Nuestro patrón de tiempo, que es la referencia para la calibración en el Perú, está conectado a la Red de Tiempos del Sistema Interamericano de Metrología - SIM, permitiendo determinar sus posibles desviaciones a través de comparaciones en tiempo real con las señales de diferentes países de Latinoamérica y Caribe las cuales son enviadas al NIST de EEUU. Foto: Walter Hupiu.



Los exámenes médicos incluyen análisis clínicos, pruebas biométricas y tests fisiológicos. La aptitud física suele ser establecida a partir de pruebas de entrada, evaluaciones físicas en resistencia, fuerza abdominal así como de brazos y piernas, mediciones de la velocidad, la elasticidad, la flexibilidad y la coordinación. Entre los tests más conocidos figuran el de Lían, el de Yo-yo y el de Cooper.

El primero mide la capacidad de recuperación cardíaca contando, también en este caso, con la ayuda de un cronómetro cuya exactitud resulta aquí igualmente fundamental. Sin desplazarse de su sitio, durante un minuto, el deportista debe golpearse los glúteos con los talones a un ritmo de dos pasos por segundo. Antes del ejercicio, se miden las pulsaciones durante 15 segundos y se vuelve a hacerlo luego del mismo hasta que éstas vuelvan al nivel previo. Mientras menos se demore el retorno al ritmo normal, tanto mejor es la capacidad de recuperación cardíaca del individuo.

El test de Yo-yo mide el consumo de oxígeno tanto progresivo como máximo, poniendo a la persona a correr de ida y vuelta tramos de 20 metros, a una velocidad creciente

que es marcada por un *beep*, hasta que el agotamiento le impide mantener el ritmo.

El test de Cooper es una prueba de resistencia aeróbica que consiste en medir el recorrido que logra hacer una persona, corriendo a su máxima capacidad, en un lapso de doce minutos. A partir de una tabla que muestra los rendimientos por edades, es posible saber si la resistencia de un organismo es buena o no.

El entrenamiento técnico se enfoca en los pases, la recepción del balón, la conducción, el disparo y el cabeceo; mientras que el táctico presta atención a la reglamentación, la marcación, las coberturas, la rotación y a las maniobras tanto ofensivas como defensivas.

De hecho, el fútbol se ha ido convirtiendo en un deporte de alto poder ofensivo y, conforme han ido pasando los años desde que se lo empezó a practicar, han ido aumentando las sustituciones, el número de pases, de disparos y de goles por partido. No en vano, estrellas del fútbol lo han practicado desarrollando sobre sus canchas sus habilidades. Tal es el caso de Tostao, Rivelino, Zico, Romario y Ronaldinho.

## Historia de una evolución

El fútbol de sala empezó a jugarse en 1930 en el Uruguay. Eran aquellos unos días de euforia futbolística en dicho país, pues su selección nacional había ganado el primer Campeonato Mundial de Fútbol organizado justamente en Uruguay. Grandes y sobre todo chicos se volcaban a las calles, convirtiendo en canchas cuantas pistas y parques ofrecieran el espacio propicio. Cuando estas áreas empezaron a ser insuficientes, los equipos empezaron a usar canchas de básquet y otros espacios cerrados.

Este panorama impulsó al profesor uruguayo Juan Carlos Ceriani a tratar de ordenar el juego que él mismo proponía a sus alumnos durante sus horas de Educación Física, elaborando las primeras reglas a partir de las del fútbol, el básquet, el *handball* y el polo acuático. Dado que Ceriani integraba la Asociación Cristiana de Jóvenes (ACJ), institución que siempre ha promovido la práctica de deportes, el Instituto Técnico de la Federación Sud Americana –que agrupa a las filiales de la ACJ–, distribuyó entre éstas el citado reglamento.

Con el correr de los años, Brasil fue liderando la organización y el desarrollo del fútbol. No en vano, fue en ese país donde surgió la CBFS - *Confederação Brasileira de Futebol de Salão*. En los 70 nació la Asociación Mundial de Fútbol de Salón, que contó con 32 países afiliados y la participación del Dr. Joao Havelange (máxima autoridad de la FIFA durante 24 años), como su primer presidente.

Hoy en día la práctica del fútbol se ha extendido por todo el mundo. Este año (2014) entre el 28 de enero y el 8 de febrero, se llevó a cabo en Bélgica la Eurocopa de Fútbol Sala. Además de la selección del país anfitrión, compitieron por el campeonato 11 equipos nacionales, como por ejemplo, los de Eslovenia, Lituania y Rusia. Fue precisamente el equipo de este último país el que disputó la final a Italia, quien finalmente se hizo de la copa.

### Dato 1:

El cronómetro cobra especial importancia en los partidos de fútbol, pues los 20 minutos reglamentarios deben ser de tiempo efectivo de juego. Por eso, en cada interrupción del juego, el árbitro debe detener el paso del citado instrumento de medición del tiempo.

### Dato 2:

En el fútbol, los arqueros pueden desplazarse por toda el área de juego y los cambios de jugadores se realizan sin necesidad de anunciarlos y sin detener el partido.

### Dato 3:

En cada uno de los dos tiempos de juego, cada equipo puede pedir un “tiempo muerto”. Se trata de un minuto durante el cual se detiene el partido, ya sea para que los jugadores descansen o para interrumpir una situación de alto riesgo.

CANELA DE OLAZÁBAL (PERÚ)





# De goles y otros

# impactos

Si hay un deporte capaz de congregar multitudes, ese es el fútbol. No es de extrañar entonces que una jornada de pases de pelota deje una huella en el ambiente, no tanto por acción de los deportistas sino más bien de los espectadores. Educación, concientización y compromiso son los caminos más directos hacia jornadas más limpias.

El estadio *José Díaz* es el más importante del Perú y cada cierto tiempo abre sus puertas a los hinchas de equipos locales o a los seguidores de selecciones nacionales, según sea la naturaleza del encuentro: un amistoso, la fecha de un torneo nacional o un partido comprendido en el calendario de una competencia internacional. Sea cual sea el caso, el panorama siempre es el mismo: conforme se va acercando la hora del pitazo inicial, se va incrementando y complicando el tráfico de vehículos -privados y de servicio público- y la afluencia de personas a la zona se va intensificando.

Si las tribunas llegan a llenarse estaremos hablando, para el caso del coloso limeño, de 60 mil espectadores. Pero hay que pensar también en los jugadores, el árbitro, los jueces de línea, el personal técnico y médico que asesora, prepara y asiste a los equipos, los trabajadores de seguridad contratados por el estadio, los efectivos policiales asignados al evento, los representantes de la prensa y los comerciantes, que aprovechan la ocasión para vender recuerdos, alimentos, bebidas y golosinas, tanto en el interior como en las calles aledañas al local deportivo.

A decir del arquitecto Manuel Flores, profesional especializado en entorno natural, el panorama limeño en jornadas de fútbol no es excepcional: “Cada estadio genera un impacto social, físico y, por supuesto, territorial porque atrae mucha gente y comercio, genera mucha demanda de lugares de estacionamiento, cambia la dinámica vial en general. Por eso es aconsejable que estén ubicados en la periferia de la zona urbana”, explica. Sin embargo, no son pocos los casos en que estos auditorios han quedado dentro del casco urbano, según comenta el profesional, pues el crecimiento de las ciudades ha terminado absorbiéndolos y convirtiéndolos en una suerte de barreras enormes, que por su masa y volumen cortan la comunicación de lado a lado, generando una circulación perimetral alrededor de sí y provocando no poco estrés: “La enorme afluencia de autos que puede haber en un momento dado, la gran cantidad de gente que circula -porque en 20 minutos salen miles de personas de un estadio-, la violencia que se puede generar en los alrededores del local, impactan sobre el barrio y la calidad de vida de un distrito”, añade.

Por su parte, el antropólogo social Fernando Roca Alcázar del Instituto de Estudios Ambientales de la Pontificia Universidad Católica del Perú, apunta a las emisiones de los vehículos que transportan a los hinchas, a la producción de residuos sólidos, al ruido que produce la efervescencia de un partido, al alto nivel de consumo de agua, ya sea para el mantenimiento del césped sobre el que se juega como para el adecuado funcionamiento de duchas y servicios higiénicos, y a la gran cantidad de luz que reclama un partido nocturno.

## Compromiso olímpico

En el año 1992, con motivo de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que tuvo lugar en Río de Janeiro, la mayor parte de los



países se comprometieron con la búsqueda de un desarrollo económico que protegiera el medio ambiente y los recursos no renovables del planeta. Por eso, adoptaron un plan de acción mundial conocido como la *Agenda 21*. Siete años más tarde, el movimiento olímpico decidió crear su propia *Agenda 21*, la cual fue aprobada en Seúl en junio de 1999, durante una sesión que tuvo allí el Comité Olímpico Internacional.

Un punto importante de dicho documento es el reconocimiento de la necesidad que existe de cambiar los hábitos de consumo, sobre todo de energía y agua, por otros más responsables y solidarios que permitan limitar los impactos que los eventos deportivos suelen tener sobre el medio ambiente.

Ya que reconoce al medio ambiente como el tercer pilar del movimiento olímpico, luego del deporte y la cultura, esta *Agenda 21* recomienda la realización de un estudio de impacto ambiental, previo a la construcción de instalaciones deportivas y/o como parte de la planificación de grandes eventos. De este modo busca proteger las áreas y espacios naturales, el patrimonio cultural y el conjunto de los recursos. Así pues, reclama estadios armoniosamente integrados al entorno –ya sea natural o urbano–, enmarcados en una planificación territorial adecuada y construidos con materiales seguros y duraderos, que faciliten el ahorro de agua y de recursos energéticos, así como una eficiente gestión de los residuos. Igualmente, reconoce la necesidad de lograr una conciencia y participación de la población cada vez mayor, de modo que se evite el uso de productos contaminantes del aire, el agua y la tierra.

## Por un aire de mejor calidad

La contaminación del aire es una mezcla de gases y partículas suspendidas en el aire, producida por las emisiones de automóviles, polvo, hollín, polen, esporas de moho o

compuestos químicos de la actividad industrial. Entre los gases se pueden mencionar el óxido de nitrógeno (NO), el ozono troposférico (O<sub>3</sub>), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO), el plomo (Pb) y el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), cuya presencia en el aire es más severa en las ciudades más grandes. Las partículas en suspensión o material particulado –PM (del inglés, *particular matter*)– pueden ser sólidas o líquidas y variar de forma y tamaño. Las PM<sub>10</sub>, cuyo diámetro es menor a 10 micrómetros (µm), penetran en las vías respiratorias pero pueden llegar a ser expulsadas por el organismo (a través de la tos y mucosidades). Las partículas más finas –PM<sub>2,5</sub> (menores a 2,5 micrómetros de diámetro)–, penetran hasta los alvéolos pulmonares, pudiendo llegar al torrente sanguíneo. La exposición crónica a estas partículas, aumenta el riesgo de enfermedades e incluso puede llevar a la muerte.

Siguiendo el espíritu de la *Agenda 21*, la Comisión de Deporte y Medio Ambiente del Comité Olímpico Español publicó en el año 2009 la *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para Eventos Deportivos*. En su punto número 4, dedicado a la movilidad responsable, el documento señala al transporte urbano como el emisor de los contaminantes más perjudiciales para la salud.

Como estrategias para reducirlos recomienda el fomento del transporte público, el acceso a pie o en bicicleta a los eventos y el uso de vehículos que emitan menos gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, clorofluorocarburos), cuando de llegar a los estadios se trata. Tal es el caso de los autos y buses que usan gas natural (GNC) o el gas licuado de petróleo (GLP), que al tener una combustión más completa, generan menos gases contaminantes que el diesel.

Pero tan importante como el uso de los combustibles adecuados para la generación de energía es el monitoreo del estado de los vehículos que circulan por las calles.



Aquí entran a tallar y resultan fundamentales dos instrumentos: los opacímetros y los analizadores de gases. Los opacímetros permiten la medición de opacidad y son utilizados para cuantificar la emisión de gases que despiden los vehículos que funcionan a diesel. Por su parte, los analizadores de gases miden la concentración de los gases contaminantes que despiden los vehículos a través de sus tubos de escape .

Dada la necesidad de que ambos instrumentos arrojen datos confiables, ellos deben ser periódicamente evaluados en su precisión. En el Perú, la entidad que cada semestre debe llevar a cabo tal tarea, de acuerdo a como lo establecen las normas, es el Servicio Nacional de Metrología del Indecopi. “Para realizar la debida calibración usamos patrones, es decir, gases con una concentración de anhídrido carbónico establecida, que se preparan teniendo como referencia una unidad de medida llamada mol”, explica Steve Acco, especialista en química del citado servicio. Para demostrar su buen funcionamiento, los instrumentos deben arrojar como resultado de la medición, una concentración de un valor compatible con el expresado en el certificado del gas patrón. Esto significa que la diferencia entre ambos valores debe ser menor a la incertidumbre de la comparación.

## Objetos en segundo uso

Dado que en los partidos es prácticamente inevitable la generación de residuos, por el consumo que se hace de bebidas, alimentos y golosinas, así como por el reparto que muchas marcas suelen hacer de objetos publicitarios y mercancías de muestra, el objetivo debe ser por lo menos reducirlos y favorecer su reciclaje. Con ese fin, se deben colocar basureros y/o contenedores donde –los mismos asistentes o posteriormente el personal de limpieza– colocar los desperdicios de manera selectiva: latas, envases ligeros, papel, cartón, vidrio y materia orgánica, de modo que puedan aprovecharse en la elaboración de nuevos productos. “Después de un partido, puede haber bastante basura, referida a lo que la gente ha consumido, pero de ahí se puede segregar y ver qué se puede reutilizar. Lo orgánico se puede aprovechar para la elaboración de compost. Los estadios deberían contar con algún tipo de planta de procesamiento interno, donde poder separar y segregar lo que puede ser vendido o reutilizado”, comenta Luis Espinoza, arquitecto experto en acondicionamiento de ambientes, energías renovables y medioambiente.

## Tesoro líquido

El agua segura es ahora un bien escaso debido a la escasez de lluvia generada por el efecto invernadero, la mayor dificultad que entraña la potabilización de un líquido que cada vez tiene más contaminantes, y el

costo energético que insume el tratamiento hasta lograr un producto apto para el consumo por eso siempre es aconsejable ahorrarla, más aún considerando lo vital que su consumo nos resulta. Para ello se recomienda que los caños de lavatorios, los urinarios y las duchas tengan sensores o reguladores de caudal que lo anulen una vez que los usuarios se hayan retirado, pues la falta de conciencia o el interés por no perder detalle alguno del partido provocan un cuidado escaso del cierre adecuado de los mismos y el consecuente desperdicio. “Las pérdidas tienen que ser mínimas”, dice Fernando Roca, quien señala también la necesidad de riego que tiene el pasto natural de las canchas y la conveniencia de que éste se lleve a cabo en las horas de menos evaporación. Es decir, temprano en la mañana o en la noche, de modo que el pasto pueda absorber la mayor cantidad de agua y el riego pueda ser más espaciado. “Si echo agua al mediodía, va a haber tal evaporación que en lugar de ahorrarla, voy a perderla”, explica. Siempre pensando en el ahorro del recurso, Roca recomienda la instalación de algún sistema de tratamiento de aguas servidas, que permita separar las aguas grises –las que salen de los lavatorios y los urinarios– para su reutilización en los servicios sanitarios. Del mismo modo, es importante contar con medidores del consumo de agua debidamente verificados, así las evaluaciones resultan más confiables y permiten controlar y corregir los excesos.

## Luz, energía, esfuerzo y servicios

A fin de minimizar los consumos energéticos es preferible aprovechar la luz natural pero si los horarios nocturnos fueran inevitables, se aconseja el uso de focos ahorradores o de bajo consumo, como los LED, por ejemplo. No obstante, los juegos diurnos demandan también ciertos cuidados, como el asoleamiento. “Es fundamental verificar que el estadio esté direccionado de tal manera que los rayos solares no den en los ojos a los arqueros. Del mismo modo, hay que garantizar que la mayor cantidad posible de personas puedan recibir sombra en un día soleado y se mantengan secas en jornadas de lluvia”, señala el arquitecto Manuel Flores, quien se refiere además a la importancia que tiene la antropometría, como especialidad que toma en cuenta las medidas del hombre (cómo se sienta, cómo mira) y los elementos mecánico-arquitectónicos de seguridad que debe tener un estadio para funcionar adecuadamente ante cualquier condición externa. El especialista menciona también la importancia que tiene en los estadios la señalética, un sistema que ofrece indicaciones para una buena ubicación de las localidades, las salidas, los lugares de venta y los baños. Es fundamental, dicho sea de paso, que los hinchas tengan acceso suficiente a instalaciones sanitarias limpias, por lo que, de ser necesario, es aconsejable contratar las variantes portátiles, a razón de 1 por cada 150 personas.



## La otra cara de la euforia

La contaminación acústica puede tener efectos nocivos en la salud de las personas, ya sea en el propio sistema auditivo, en el sistema nervioso o en el ritmo respiratorio. Puede generar problemas coronarios y gastrointestinales, alteraciones hormonales y agresividad en personas expuestas prolongadamente a sonidos por encima de los 80 decibeles. Además de afectar a la fauna, el ruido resulta una molestia para quienes no están participando del partido. En el caso del fútbol, no es la propia práctica deportiva la que provoca ruido, sino el aliento que los espectadores buscan dar a sus equipos, ya sea coreando arengas o usando vuvuzelas, pitos y explosivos que, además, contaminan la atmósfera. Si una detonación supera los 140 decibeles, puede ocasionar un trauma acústico. Los rítmicos bocinazos de los conductores aficionados que circulan por la ciudad también hacen lo suyo. “Tratar de minimizar la bulla puede resultar complicado, pues es imposible esperar que la gente no grite un gol. Lo que se tiene que trabajar es la zonificación, previendo que los estadios no estén cerca de viviendas, de hospitales o de ecosistemas frágiles”, acota, por su parte, el arquitecto Espinoza.

Para medir la intensidad del sonido de manera adecuada, hay que contar con sonómetros debidamente calibrados, que permiten establecer cuándo determinados generadores de ruido pueden resultar dañinos, de modo que puedan limitarse o impedirse su uso.

Si bien es cierto que la tecnología ofrece hoy en día muchas alternativas para una atención más eficiente y eco-amigable de las necesidades humanas, éstas pueden resultar costosas, pero también innecesarias, si la conciencia y la cultura cívica se fortalecen y los ciudadanos nos acostumbramos a reemplazar el maltrato por el buen uso de cuanto tenemos a nuestra disposición: los recursos naturales, las instalaciones, los servicios y hasta los objetos de consumo.

Cabe destacar, ciertamente, que parte de los buenos usos y consumos requieren medidas adecuadas y confiables, es decir, aquellas certeras, que se obtienen gracias al uso de instrumentos de medición debidamente calibrados y en buen estado.

CANELA DE OLAZÁBAL (PERÚ)



Steve Acco, del Servicio Nacional de Metrología de INDECOPI, interviene en la evaluación de instrumentos de medición de emisiones, utilizando gases de referencia para asegurar que los datos obtenidos sean confiables. Foto: Walter Hupiu



Los últimos avances tecnológicos se han incorporado siempre al fútbol: en la construcción e iluminación de estadios, en técnicas diagnósticas para detectar lesiones de los jugadores, en la fabricación de balones que intentan lograr la esfera perfecta...





**Tecnología**

# Esferas mágicas en el estadio

Cada cuatro años la tecnología redobla la apuesta al proponer modificaciones al símbolo del fútbol por excelencia: la pelota. Túneles de viento, piernas robóticas que patean en forma sistemática y con parámetros controlados, mediciones y ensayos son algunas de las maneras que emplean los fabricantes para comprobar la calidad final de estas esferas. Como resultado, la *Brazuca* se convirtió en la *vedette* del Mundial 2014. ¿Qué camino debió recorrer para lograrlo?

La pelota de fútbol encierra muchos más significados de los que sería posible narrar en las páginas de una revista. Es la sonrisa orgullosa de un padre que ve correr tras ella a su pequeño hijo, cuando apenas puede dominar sus movimientos. Es la alegría de un tío al ver que el balón del pequeño jugador lleva los mismos colores que, desde siempre, él lleva pintados en el alma.

Es también la excusa perfecta para que totales desconocidos se sientan casi amigos en unos pocos pases, sin mediar palabras. Y hasta ha sido utilizada en una invocación a la paz, en un partido que unió a jugadores israelíes y palestinos en Sevilla (en 2006), quienes además de compartir el balón para enfrentar a la selección andaluza, resumieron el valor simbólico del evento con la inscripción “*It's possible*” (Es posible) en sus camisetas.

En la Argentina el cine le obsequió un protagónico en *Pelota de trapo* (1948), película dirigida por Leopoldo Torre Ríos que, en blanco y negro, narra la historia de Comeuñas, un niño de clase obrera que sueña con tener una pelota de cuero y convertirse en crack. Mientras alimenta el sueño, se junta con los chicos del barrio y forma el equipo de los *Sacachispas*, para jugar picados en el estadio imaginario del potrero.

La redefinición del kilogramo apunta a ligar la unidad de masa a constantes atómicas. La cantidad de átomos presentes en una esfera de silicio definiría el kilogramo y el mol en términos del número de Avogadro.

Ilustración esfera y balón:  
Alberto Parra del Riego  
Ilustración de fondo:  
© Leonid Andronov - Fotolia.com

Eran otros tiempos. El fútbol era movido más por la pasión que por la avidez comercial. No obstante, si Comeuñas hubiera podido asestar un solo golpe a cualquiera de los balones de fútbol que pasaron a ser leyenda en la historia de los mundiales, seguramente sus sueños hubieran sido otros. Y es que el camino recorrido por estas esferas mágicas —en relativamente poco tiempo— se ha transformado en un muestrario itinerante del avance tecnológico alcanzado por la humanidad.

## Made in Belle Ville

Pero la pelota de trapo no fue la primera pelota. Tampoco la peor. Cuentan que en la antigüedad, cuando los *zombies* aún no llenaban cines, se usaban cabezas humanas para jugar a patear, con especial predilección por la cabeza del enemigo. Ya en la Edad Media, se empleaban vejigas de cerdo como pelotas, las que se inflaban y se calentaban con el fin de estirarlas, lo que hacía que quedaran más ovaladas que esféricas. En realidad el primer salto tecnológico llegó en el siglo XIX con el descubrimiento del proceso de vulcanización del caucho por parte de Charles Goodyear (que no creó los neumáticos, aunque llevan su nombre a modo de homenaje por haber descubierto ese proceso). Antes de ello el caucho se derretía al calor, volviéndose muy pegajoso. Llamada así en honor al dios Vulcano, la vulcanización permitió fabricar el primer balón de goma en 1875. Era más duro, mucho más esférico y menos impredecible en sus movimientos que sus predecesores.

En 1880 un artesano creó en Inglaterra la pelota de fútbol de cuero. Dividida en gajos, la pelota era cosida a mano y contaba con un tiento por el cual se inflaba. El tiento era un cordón de cuero que cerraba la pelota por fuera haciéndola más ovalada. En los años 20 esto obligaba a los jugadores a utilizar boina, a modo de casco, para protegerse de los cortes.



Y es que con el sol y la humedad, el tiento se aflaba y cortaba “como navaja nueva” por lo que al cabecear, se solían cortar la frente.

La invención de un sistema de válvula que se introducía dentro del cuero de la pelota, junto con un método de costura que eliminaba definitivamente el tiento, fueron los revolucionarios aportes de tres inventores argentinos. En la ciudad de Belle Ville, al sudeste de la provincia de Córdoba (Argentina) en 1931 Luis Polo, Antonio Tosolini y Juan Valbonesi idearon la pelota de fútbol sin tiento y de costura invisible.

Por esa causa, en la ciudad de la cual es oriundo Mario *El Matador* Kempes (goleador que condujo a la selección argentina al triunfo en la Copa Mundial de 1978), dicen que el invento marcó un antes y un después en la historia mundial del fútbol. “Primero fue adoptado en España, después en Inglaterra, Francia, Brasil, Colombia y por último en la Argentina”, dijo Roberto Fuglini, titular de una de las fábricas de pelotas e indumentaria más antigua de Córdoba, durante una entrevista publicada en 2002 en la revista dominical *Nueva*.

De acuerdo con esa fuente, la invención generó dos patentes. La número 35 567, otorgada el 11 de marzo de 1931, por “mejoras en balones inflables para deportes”, y la 35 779, del 20 de abril de igual año, por “mejoras en cámaras de aire para balones”. Hoy, cada uno de los tres inventores tiene en Belle Ville una calle con su nombre. ¡Cómo para olvidarlos!

## Una nueva dinastía

Los requisitos que marcan los reglamentos de fútbol para las pelotas apenas han variado levemente con el correr de los años, registrándose cambios de importancia sólo en los tipos de materiales de fabricación y la forma de los gajos.

El primer reglamento de fútbol creado en Inglaterra en 1863 no especificaba estándares para las pelotas. Una revisión de 1872 definió que los balones debían tener forma esférica, una circunferencia de entre 27 y 28 pulgadas<sup>1</sup> (68,58 y 71,12 centímetros en forma respectiva) y un peso de entre 13 y 15 onzas (368,5 y 425,2 gramos). Recordemos que en ese entonces en Inglaterra se usaban las unidades del sistema imperial. Si bien Inglaterra adoptó hace décadas el Sistema Internacional de Unidades, no ha resultado simple su adopción por la población por lo que convive con el sistema anterior.

Organizada por la FIFA, la primera Copa Mundial de Fútbol tuvo lugar en Uruguay en 1930 (país que además ese

<sup>1</sup>La unidad pulgada no pertenece al SI-Sistema Internacional de Unidades



Utilizada en el Mundial de Fútbol de Brasil (2014), la *Brazuca* es considerada la pelota más ensayada de toda la historia del fútbol. Fotos cedidas por Adidas

año se quedó con la Copa), aunque la tradición de bautizar a los balones comenzó recién en 1970, en el Mundial de México con la *Telstar*, cuyo nombre recuerda al satélite que hizo posible la transmisión de ese evento a diversos rincones del mundo.

En el Mundial de Alemania también se usó la *Telstar* (1974), que en el de Argentina se convirtió en *Tango* (1978) y en España, *Tango-España* (1982). En México se denominó *Azteca* (1986); en Italia, *Etrusco Único* (1990). En los Estados Unidos fue *Questa* (1994) y en Francia, *Tricolor* (1998). En Corea del Sur-Japón, *Fevernova* (2002); en Alemania, *Teamgeist* (2006); y en Sudáfrica, *Jabulani* (2010).

El nombre *Brazuca* surgió de una votación popular realizada en 2012 en Brasil entre más de un millón de internautas aficionados al fútbol; alude a una expresión popular que

evoca el modo de vida alegre de los brasileños. El debut oficial del balón fue en el partido inaugural del Mundial de 2014 en el *Arena Corinthians* de San Pablo con las selecciones de Brasil y Croacia, que terminó con la victoria de Brasil en un 3-1 por un controvertido penal.

Para conocer de qué modo fueron modificándose los procesos de fabricación de los balones de fútbol *¡De acuerdo!* consultó a José Warren, TM Product Training Manager (Panamá) del Grupo Adidas en América Latina, fabricantes del balón oficial desde 1970.

“En 1970 empezamos a desarrollar los balones oficiales para la Copa Mundial con el *Telstar*, hecho de cuero genuino y con 32 paneles, 12 negros y 20 blancos, diseñado de esta forma para que fuese posible observar el balón durante las transmisiones televisivas. La evolución en materiales y diseños nos lleva en 1978 a implementar las tríadas [n. de r.: un gráfico de 20 paneles que en conjunto formaron una docena de círculos idénticos, aunque en realidad el balón se fabricó con 32 paneles], llegando luego en 1986 con el *Azteca*, primer balón hecho de materiales sintéticos”, dice Warren, y continúa: “Para 1998, incorporamos el primer gran cambio en el diseño, al representar en el balón los colores del país como se ve en el *Tricolor* en el Mundial de Francia. Seguido de éste, se cambia completamente el diseño con el *Fevernova*, Corea-Japón 2002. En el siguiente mundial, Alemania 2006, se evoluciona a 14 paneles con el *Teamgeist* que significa “espíritu de equipo”. En el 2010, contamos con un balón de tan solo 8 paneles y termosellado, con 11 colores que simbolizan las 11 comunidades africanas y los 11 idiomas oficiales de Sudáfrica: el *Jabulani*. Y ahora con nuestro *Brazuca* intentamos plasmar toda la cultura y el orgullo brasileño en el balón con todos los elementos, sus colores, su diseño serpenteado (que evoca el recorrido de los caminos del río Amazonas), las estrellas y su propio nombre”, señala.

## “La pelota no dobla”

Al ser consultado sobre cuál es la nueva tecnología que incorpora la *Brazuca* el representante de la marca deportiva afirma que además del reemplazo del cuero por materiales sintéticos para permitir que sea impermeable, se introdujeron mejoras en su fabricación—ahora no requiere costuras— volviéndose más estable, eficiente y con mejor agarre. Recordemos que la *Jabulani*, su predecesora en el Mundial de Sudáfrica, generó dificultades y controversias, sobre todo en relación a su estabilidad.

El técnico de la selección argentina, Daniel Passarella, pasó a la historia al decir “aquí la pelota no dobla”, luego de que el seleccionado que lideraba perdiera 2 a 0 contra Ecuador, en las eliminatorias para el campeonato de Francia 98. El partido se jugó en Quito, a 2850 metros de altura sobre el nivel del mar.

¿Qué importancia tiene el dato de la altura? Al hacer un pase o un tiro de área, la trayectoria de la pelota se parece a una parábola, que sería perfecta si no hubiese aire, pero como sí lo hay la afecta, haciendo que caiga antes de lo previsto por efecto del rozamiento. En Ecuador, la trayectoria es más perfecta y la pelota no dobla tanto al caer debido a que la densidad del aire es un 25 % menor que la que presenta al nivel del mar. Recordemos que la densidad del aire es un indicador del número de moléculas por unidad de volumen en la atmósfera. Cuantas más moléculas tiene el aire más denso es, y si es más denso, también es mayor la interacción que genera con la pelota.

¿Qué fuerzas ocultas hacen doblar a la pelota? Cuando un jugador patea con la cara interna del pie, le imprime a la pelota dos tipos de movimientos: uno de rotación sobre su propio eje que hace que la pelota gire y otro de traslación, que ocasiona su avance. Como gira, uno de los lados va a favor del aire mientras que el otro va en contra. Eso genera menor presión del lado que va a favor del viento y mayor presión del lado opuesto.

Como resultado de ello, se genera una diferencia de velocidad en el flujo de aire que llega a cada lado de la pelota, lo que causa su desvío produciendo la conocida *comba*. Esta fuerza es conocida como fuerza de Magnus en honor a quien la describió por primera vez (1852) para comprender la desviación que sufrían las balas de cañón al ser disparadas con un movimiento de rotación propio. Pero ¿qué tiene que ver todo esto con lo que dijo Passarella? Es que al aumentar la altura disminuye la densidad del aire así como la presión atmosférica, y la fuerza de Magnus depende de la densidad del aire; para lograr la misma *comba* en altura hay que imprimirle una mayor rotación al balón.

Como dijo Juan José Campanella, en un capítulo del ciclo televisivo que protagoniza (*Entornos invisibles de la ciencia y la tecnología*), Passarella en lugar de decir que la pelota no dobla debió haber dicho que los jugadores no tuvieron posibilidad de adaptarse al cambio de fuerza de Magnus provocado por una menor densidad del aire. Aunque si lo hubiera expresado así, ¿quién lo recordaría hoy?

## Su majestad, la *Brazuca*

“*Brazuca* superó todas las pruebas que estipula la FIFA para los balones y obtuvo el sello de más alta calidad (el *FIFA Approved*). Además ha sido el balón más probado de la historia: durante dos años y medios, en 10 países, por 30 equipos, sumando 600 jugadores y 287 entrevistas, el 30 % de ellas con jugadores no patrocinados por Adidas”, apunta Warren. Entre los jugadores que participaron en el proceso de pruebas estuvieron Lionel Messi, Iker Casillas, Bastian Schweinsteiger y el ya retirado Zinedine Zidane, ganador del Mundial en 1998.



La FIFA define tres niveles de calidad diferentes para los balones de fútbol: *FIFA Approved* (Aprobado por la FIFA), *FIFA Inspected* (Inspeccionado por la FIFA) y el *IMS-International Matchball Standards* (balón internacional estándar).

Warren explica que: “Para obtener el exclusivo sello de calidad *FIFA Approved*, un balón debe superar seis pruebas en condiciones aún más severas que cuando se ensayan para los otros sellos de calidad (*FIFA Inspected* y el *IMS, International Matchball Standards*).



Prueba	Estándares para sello <i>FIFA Approved</i> .	Resultados alcanzado por <i>Brazuca</i>
Masa	Entre 420 y 445 gramos	437 gramos
Rebote	20 °C: 135–155 cm	141 cm
Absorción de agua	No más de 10 % de aumento de su peso	0,2 %
Pérdida de presión	No más de 20 % en 72 horas	7 %
Circunferencia	68,5 a 69,5 cm	69 cm

Tabla elaborada por la autora. Fuente Adidas.

La precisión en el rebote de un balón es un dato esencial para averiguar su calidad. De acuerdo con un artículo publicado en la edición julio-agosto de 2008 de la revista española *Eroski Consumer*, las pruebas se hacen a 5 °C y a 20 °C para simular diferentes condiciones ambientales que pueden alterar el comportamiento del producto. Los balones se dejan caer desde dos metros sobre una lámina de acero y se mide hasta dónde rebotan, señalándose los mínimos y los máximos para ambas temperaturas de control. El rebote no sólo debe ser de una determinada altura (véanse los valores del cuadro), sino también uniforme: cada balón se lanza diez veces y la diferencia entre el mayor y menor rebote no debe superar los diez centímetros.

La *Brazuca* rindió exitosamente todos los exámenes. Compuesta por seis gajos idénticos en forma de hélice y cubierta en su totalidad por una textura milimétrica de alrededor de 50 mil minirelieves (los que generan una rugosidad similar a la de las pelotas de golf) demostró una buena estabilidad en el aire y una trayectoria más predecible que la *Jabulani*. Estudios de aerodinamia realizados en el Instituto de Tecnología de California-Caltech (EEUU) y en la Universidad de Tsukuba (Japón) revelaron que esos pequeñísimos relieves del balón le confieren un porcentaje de arrastre menor, de hasta un 50 % menos comparado con una esfera completamente lisa, y esa reducida fricción con el aire resulta clave en la distancia y velocidad de desplazamiento.

Dado que Brasil es el país más extenso del hemisferio sur, uno de los mayores retos que iba a enfrentar la *Brazuca* era la diversidad climática. En Manaos y Fortaleza la temperatura (a la hora de los partidos) alcanza los 38 °C, mientras que en el Sur, las ciudades como Porto Alegre y Curitiba en los meses de junio y julio llegan hasta el punto de congelación del agua. En las zonas tropicales del país, la humedad sobrepasa el 90 % y la lluvia es casi una garantía.

En el laboratorio, la *Brazuca* sorteó con éxito todas estas variaciones. Uno de los secretos para lograrlo reside en que cada uno de los paneles, en vez de estar cosidos, está unido por medio de un proceso térmico que minimiza la absorción del agua. Mientras que los parámetros que establece la FIFA determinan que la esfera no puede retener más del 10 % de su peso en agua, la *Brazuca* absorbe sólo el 0,2 % del valor límite, es decir, 50 veces menos. La textura, que consiste en relieves de 0,1 mm, crea un sistema de drenaje alrededor del balón, que además de favorecer el escurrimiento de agua permite, al contacto del pie, una mayor superficie de golpeo para un mejor toque y un mayor control.

El balón atravesó 80 ensayos. “Se le ha probado al 95 % de humedad y a temperaturas extremas”, explican los especialistas, quienes agregan que la *Brazuca* también debió resistir en el laboratorio 3500 tiros a 50 km/h, realizados con robots de prueba.

Pero lejos ya de las explicaciones teóricas ¿qué opinaron los protagonistas de la Copa? Sergio *Chiquito* Romero dijo sobre la *Brazuca*: “No se aleja mucho de lo que fue la *Jabulani*. Aunque la siento mucho más rápida. Si uno le pega seco, vuela más rápido que la *Jabulani*. Por ahí, en Sudáfrica, con la altura, se movía más, viboreaba más; en cambio ésta se mueve un poco menos y no hace tanto firulete”, dijo Romero y agregó: “Esto es un Mundial. La gente quiere ver goles, de la selección que sea. Esperemos que la *Brazuca* le dé satisfacciones a los argentinos y no a los rivales”.

Julio Chiappetta, periodista deportivo, editor y jefe de sección de *Deportes* del diario *Clarín*, quien siguió paso a paso los partidos del Mundial 2014 compartió con *¿De acuerdo!* su visión sobre la *Brazuca*: “Los arqueros no se quejaron por la pelota, pero igualmente hubo muchos goles, en especial en la primera parte del Mundial en Brasil. No creo que sea por la influencia de la pelota, me parece que los arqueros ya se adaptaron a ella. Sí creo que es porque se juega más ofensivamente y se pateo más al arco”.

Hasta ahora la tecnología nos ha sorprendido. ¿Logrará impresionarnos una vez más en Rusia 2018? Solo es cuestión de esperar. Mientras tanto, los amantes del deporte “pasión de multitudes” cuentan hoy con una enorme variedad de modelos para disfrutar.

CLAUDIA MAZZEO (ARGENTINA)



# Un uniforme para ganar

Previo al pitazo inicial, un jugador de fútbol saldrá a la cancha vestido con equipo de tecnología y materiales “inteligentes” para aprovechar al máximo su desempeño deportivo. Desde la camiseta hasta los tacos o taponos en sus botines, su vestimenta está diseñada para ayudarlo a hacer un gol espectacular.

Los 90 minutos de juego están por empezar. Pronto saldrán al terreno los 22 jugadores, listos para arrancar la faena deportiva con el silbatazo inicial. Irán vestidos con los colores de su equipo o los colores de la nación que representan. Pero también vestirán con productos de la tecnología y la ciencia, que mejorarán su rendimiento y les protegerán de los embates propios del juego.

En los primeros eventos deportivos los futbolistas jugaban con lo que fuera que tuviesen puesto. En 1860 en Inglaterra, donde comenzó el fútbol organizado, esto significaba camisetas pesadas y de mangas largas, pantalones largos y una capa corta de un color que diferenciara a cada equipo. Seguramente cualquier futbolista te dirá que no debe haber sido cómodo.

Los uniformes de hoy están pensados para ayudar a que el jugador pueda correr, saltar, tirarse al suelo, moverse con agilidad y recibir los golpes en un deporte de mucho contacto físico como lo es el fútbol. Para su diseño y fabricación, actualmente intervienen ingenieros especializados



en textiles, polímeros y otros materiales, pues además de verse bien, los uniformes tienen que maximizar y apoyar el desempeño físico del jugador.

El fútbol a nivel profesional es un deporte exigente. Dependiendo de la temperatura ambiente, se consumen entre 4000 y 5000 calorías en un partido de 90 minutos. El cuerpo libera una gran cantidad de calor al correr continuamente de un lado de la cancha al otro.

Imagina lo incómodo que sería, por ejemplo, jugar con un uniforme hecho de lana. Pues, aunque no lo creas, de este material estaban hechas las primeras camisetas de fútbol, a finales del siglo XIX; de pesada, caliente e incómoda

## Línea del tiempo

**1526**

Aparece la primera referencia al uso de una pieza de vestimenta para jugar al fútbol: un par de botines en el guardarropa del rey Enrique VIII.

**1867**

Se sugiere que los jugadores vistan camisetas y capas de colores distintos para diferenciar a los equipos.

**1874**

El jugador Sam Weller, del *Nottingham Forest*, modifica unas espinilleras de un uniforme de cricket para crear los primeros protectores de fútbol.

**1880**

Los equipos reemplazan los clavos que solían colocar en las suelas de sus botines por los primeros tacos.



lana. Aún más, estas camisetas absorbían el agua cuando llovía, haciendo a los jugadores más pesados.

Al jugar cualquier deporte, lo que menos desea un deportista es sentirse pesado. El fútbol requiere agilidad y rapidez. Una tela que se vuelve tan pesada como la lana no contribuye en nada al desempeño deportivo. Por ello, el cambio al algodón fue una mejora sustancial que se introdujo a inicios del siglo XX.

## La tela óptima

Sin embargo, los futbolistas necesitaban uniformes más adecuados para mejorar su desempeño; es decir, una tela que respirase mejor. Ese cambio, que llegó después, se basa en dos principios de la física: la percolación (el paso lento de un fluido a través de un material poroso) y la evaporación (cuando el líquido pasa al estado gaseoso).

Un textil ideal para practicar deporte debe regular de manera óptima el calor y la humedad del deportista; absorber y liberar rápidamente la humedad; no debería estirarse ni encogerse en caso de estar mojado, y además es importante que sea durable, fácil de cuidar, liviano y agradable al tacto.

Las fibras naturales como el algodón aman la humedad; la adoran. Cuando están en contacto con ella, proveniente del sudor del futbolista, por ejemplo, la absorben rápidamente. Pero el algodón ama tanto a la humedad que no la dejará ir fácilmente, por lo que el sudor se queda allí, atrapado en la camiseta.

Y el sudor es más que sólo agua: es el calor excesivo saliendo del cuerpo de la persona. Si el algodón de la camiseta retiene el sudor, retendrá también algo de calor que el cuerpo mismo está tratando de liberar. El poliéster, en cambio, detesta el agua; no quiere saber nada de ella. Apenas entran en contacto la repele, dejándola atrapada entre la piel y la camiseta.

Como ves, ninguno de estos materiales tiene las características o beneficios adecuados, por lo que fue necesario buscar nuevos textiles para encontrar el equilibrio deseado. La respuesta se encontró en telas sintéticas intermedias, como el nylon y poliésteres modificados, que tienen la propiedad absorbente del algodón y la fácil evaporación

que provee el poliéster puro. Esta combinación se logra a partir de la mezcla de fibras sintéticas y naturales, o alterando (química o estructuralmente) las fibras del poliéster. Estas telas absorben el sudor del deportista, lo distribuyen por toda la pieza y hacia la capa externa de la camiseta (que está en contacto con el ambiente) facilitando su evaporación.

De esta manera, el jugador se libera del calor gracias a la rápida y constante percolación y evaporación, y además no carga con una camiseta y pantaloncillos que serían hasta 7 % más pesados a causa de la absorción del algodón. Estos y otros beneficios se pueden lograr también de variadas maneras. Por ejemplo, al entretrejer el poliéster de una manera particular para minimizar los espacios entre las fibras, se aumenta la capilaridad del textil. Esto facilita que un líquido como el sudor pase más rápidamente de la capa interna a la externa y se evapore con facilidad. Este tipo de tejido de poliéster se conoce como microfibra.

Las medias deportivas también se fabrican con telas que absorben y liberan la humedad. Algunas tienen un grosor extra en la parte de la planta del pie, para proveer mayor suavidad y comodidad al caminar o correr.

## Control y agarre

Llegamos a una parte muy importante del uniforme de un futbolista: sus botines. Como podrás imaginar, correr en una pista atlética o en la calle no es lo mismo que hacerlo en el césped de la cancha. Además, mientras las primeras superficies permanecerán siempre duras, las canchas de fútbol pueden tener diferentes características. La dureza es muy variable dependiendo de si es artificial, natural y de qué tan seca o mojada esté la gramilla.



### 1950

Los uniformes se vuelven mucho más livianos y cortos en Europa y Latinoamérica, mejorando y facilitando el desempeño deportivo.

### 1975

Se crean las primeras réplicas comerciales de los uniformes de los equipos de fútbol, para ser comprados por los aficionados.

### Siglo XXI

Se experimenta con microfibras y nanotecnología para crear telas sensibles al calor y la luz.





En la parte inferior de los botines hay una serie de tacos o tapones que mejoran el agarre y la tracción al suelo, pues los deportistas en la cancha requieren precisión en cada paso que dan, sin temor a resbalarse y perder una importante jugada.

Algunos botines tienen tacos removibles y permiten a los jugadores poner más o menos cantidad dependiendo de las condiciones del terreno de juego. Los botines con tacos dan una mayor superficie de contacto al futbolista con el suelo, aumentando la fricción y mejorando la estabilidad del jugador: cuantos más tapones, mayor es la superficie de la suela del botín y hay más roce contra la gramilla, aún cuando esté mojada. Este mismo principio se aplica en los neumáticos de un vehículo en tiempos de nevada, cuando se acostumbra colocarles cadenas para mejorar su tracción y evitar el deslizamiento o derrape. En la actualidad, estos tacos son de goma, aluminio o sintéticos, lo que le da al botín la tracción necesaria sin agregar mucho peso.

Y hablando de fricción, el material con que está hecha la parte superior del botín está diseñado para ofrecer mayor agarre y control entre los pies del jugador y el balón. Los futbolistas además necesitan sentir el balón cuando corren con él, por lo que esta capa superior debe ser delgada, resistente y proveer la fricción requerida. Por ello, ingenieros en materiales han investigado cuáles son los tipos de cuero y polímeros que poseen estas características.

Años atrás, el cuero de canguro era el principal material para fabricar los botines. Hoy en día se reemplaza por otros cueros y se mezcla con materiales sintéticos que reducen el peso del botín.

La evolución de los botines también ha sido acompañada por la disposición de los cordones, los cuales ya no están necesariamente sobre el empeine, con el objetivo de mejorar el desempeño del impacto sobre la pelota. El encordado del botín puede estar en la parte lateral o bien quedar sobre el empeine, cubierto por una lengüeta que al doblarse cubre todo el empeine, generando una superficie adecuada para golpear el balón con mayor precisión.

## ¡Que no te detenga un golpe!

Un deporte de contacto físico como lo es el fútbol requiere que el equipo que use el deportista le provea una protección adecuada. Al ser un juego en que los pies y piernas hacen la mayor parte del trabajo, los jugadores están expuestos a golpes y puntapiés en una zona que por sí sola tiene poca protección: las espinillas o canillas.

Esta parte del cuerpo tiene poco músculo y grasa protegiendo el hueso, por lo que un golpe directo a este lugar puede resultar en un dolor o hasta en una lesión, que sacará al jugador de la competencia.

Por ello, bajo las medias los futbolistas usan espinilleras o canilleras que son de dos tipos básicos: unas se insertan entre la media y la pierna, y otras se ajustan al tobillo y cubren ambos lados del pie.

Las espinilleras o canilleras tienen tres partes. La primera es la lámina protectora, que va al frente de la pierna y ofrece toda la protección. Ésta usualmente está hecha de un plástico duro o de fibra de carbono para absorber mejor los impactos. Detrás de la lámina una espuma ayuda aún más a suavizar aún más los golpes que pueda recibir el futbolista y le añade comodidad al jugador. Por último, un sistema de ajuste ciñe la espinillera a la pierna del jugador por medio de tiras ajustables, una manga de compresión, o una cinta adhesiva especial.

¿Serán efectivas estas canilleras?

Para comprobarlo, los prototipos son sometidos a una prueba de impacto, siendo golpeadas por un martillo de un kilogramo tanto vertical como horizontalmente. Si el impacto ocasiona un quiebre en la estructura de la espinillera, se revisa el diseño, dado que en el terreno de juego podrían causar hasta una fractura en la pierna del futbolista.



Dependiendo de la posición en la que juegue el futbolista, requerirá más o menos protección con las espinilleras. Los defensas necesitan la mayor protección, por lo que las usan más pesadas y con mayor protección en los tobillos. Los mediocampistas también requieren de protección, pero necesitan moverse con libertad, por lo que la espinillera es más ligera.

Los delanteros, usualmente los más rápidos y ágiles, tienen menos protección en la espinillera pero más en los tobillos. Los guardametas no sufren tantos embates en las espinillas, pero sus pantalones suelen tener acolchonamiento en los costados para reducir el impacto durante las caídas.

Foto esquina superior izquierda: Zapatos de fútbol © soonthorn - Fotolia.com, foto en medio: Espinilleras © MaZiKab - Fotolia.com.



## Contra el frío y la fatiga

Hay aditamentos adicionales que los futbolistas utilizan para mejorar sus condiciones de juego en la cancha. Estas son las prendas de compresión, que tienen como propósito ayudar al jugador a poder permanecer más tiempo en el partido con menor cansancio.

Correr de un lado a otro durante 90 minutos puede ser extremadamente agotador, especialmente para los músculos de las piernas. Después de poco tiempo se acumula ácido láctico en ellos, lo que ocasiona calambres dolorosos que hacen al jugador menos efectivo y pueden hasta imposibilitarle continuar con el juego. El uso de ropa de compresión mejora la circulación sanguínea y mantiene los músculos calientes para prevenir desgarres musculares y fatiga. Por ello, los futbolistas suelen usar pantaloncillos y medias de compresión, hechas de un material tipo *spandex*, que además remueve el sudor fácilmente (por percolación y evaporación, ¿recuerdas?).

Casi nunca verás a un portero iniciar el juego sin sus guantes. Estos están acolchonados por dentro para absorber los impactos del balón, pero también están diseñados para evitar que los dedos se tuerzan hacia atrás, previniendo fracturas. Adicionalmente, el cuero sintético con el que

están hechos produce la suficiente fricción contra el balón como para evitar que éste escape.

Por último, en algunas ocasiones es necesario que los jugadores usen ropa termal. Por ejemplo, si la Copa Mundial de 2018 en Rusia se jugara en climas de frío extremo o incluso nieve, los jugadores usarán camisetas y pantalones largos para conservar la temperatura y no exponer la piel al contacto con el frío.

La ingeniería de materiales ha revolucionado la práctica deportiva desde que se implementaron los primeros uniformes de fútbol, y lo continúa haciendo. En la actualidad se trabaja en dar a los textiles deportivos características aún más funcionales. Por ejemplo, encapsulando partículas minúsculas en el entretejido se ha logrado desarrollar telas termocromáticas (sensibles a los cambios de temperatura) y fotocromáticas (sensibles a los cambios de luz). Esto ayudará a saber si un atleta está realizando un esfuerzo mayor al óptimo y facilitará los juegos de noche, por mencionar algunas de sus aplicaciones.

Así que, ya ves: hay más que colores en un uniforme deportivo. ¡Hasta los botines adecuados pueden ayudar a tu equipo a meter un espectacular gol!

JASSON CLARKE (COSTA RICA)



### Camiseta y pantaloncillos

La mezcla de poliéster con que están hechos remueve el sudor del jugador y lo dispersan para que se evapore rápidamente, ayudando a reducir el calor del futbolista.

### Botines/zapatos

Diseñados para el agarre y el control. Los tacos en su suela afirman al futbolista a la gramilla en cada paso y las texturas en su exterior dan un mayor control del balón.

### Espinilleras/canilleras

Protegen una de las partes más sensibles de las piernas de un futbolista: sus espinillas. Absorben los golpes y distribuyen su impacto para minimizar el efecto en el jugador.

### Ropa de compresión

Ayuda a mejorar la circulación del atleta, reduce la fatiga en las extremidades y previene los calambres.

### Ropa termal

Protege a los jugadores del frío en caso de jugar en climas fríos o nevados.

### Vestuario del guardameta/golero

Sus guantes permiten mejor agarre del balón, y sus pantalones acolchados le protegen al lanzarse al suelo para detener un tiro al arco (meta).



# Cuando Tesla diagnostica



Cambios de velocidad, movimientos bruscos e impactos son algunas de las causas de lesiones de los futbolistas, muchas de las cuales requieren equipamiento de alta tecnología para su diagnóstico y tratamiento.  
Foto: Foul en el fútbol © ALAIN VERMEULEN - Fotolia.com

Las regiones que con mayor frecuencia se lesionan los jugadores de fútbol de alto rendimiento a causa de las acciones y movimientos que demanda el deporte son tobillos, rodillas, isquiotibiales (músculos posteriores del muslo) y cabeza. De acuerdo con el Centro de Investigación y Evaluación Médica de la FIFA, los esguinces son las lesiones más comunes en los tobillos; el desgarro del ligamento cruzado anterior, en las rodillas; el desgarro o ruptura, total o parcial, en los isquiotibiales; y no de mayor recurrencia pero sí de gravedad, las conmociones cerebrales.

El organismo internacional reporta también que la mayor parte de las lesiones en el fútbol tienen un carácter de muy leve o leve, y que en éstas predominan las contusiones musculares y los esguinces articulares. Lesiones todas que deben ser atendidas con prontitud y seriedad para evitar secuelas o el agravamiento de las mismas.

Si bien la valoración clínica es fundamental en el diagnóstico de una lesión, el empleo de técnicas imagenológicas (como los rayos X, la tomografía computada, la ecografía y la resonancia magnética) incrementa la certeza en el diagnóstico y la precisión en la localización de la lesión.

Los estudios de imagen incluso rebasan su aplicación clínica (como es el caso de la resonancia magnética) y adquieren un papel decisivo en la contratación de jugadores y en la comprobación de sus edades para cada categoría. Esta última aplicación, conocida como *la prueba de la muñeca*, introducida por la FIFA en 2009 para el Mundial Sub-17, consiste en la evaluación del desarrollo y maduración del esqueleto.

Ubicado en el centro de la República Mexicana, el estado de Querétaro es sede del club de fútbol profesional, *Gallos Blancos de Querétaro*; un equipo fundado en 1950, que ha jugado 11 temporadas en la Primera División de la *Liga Mexicana de Fútbol* y que en el último torneo, *Clausura 2014*, reportó un total de tres lesiones musculares y una articular de gravedad.

Cambios de velocidad, movimientos bruscos e impactos son algunas de las causas de las lesiones del futbolista de alto rendimiento, las cuales, de acuerdo con su gravedad son detectadas por el médico responsable mediante la auscultación y el apoyo de técnicas imagenológicas, dentro de las que destaca la resonancia magnética por la alta resolución de su imagen.

La imagen por resonancia magnética es un estudio diagnóstico, cuyo principio físico fue desarrollado por Edward Purcell y Félix Bloch en 1946, aplicado a la clínica a partir de la década de los 80. Líder entre los exámenes de imagenología actuales, dicho estudio proporciona imágenes tridimensionales del cuerpo humano con alta resolución. Consiste en la absorción y reemisión de radiación electromagnética por el núcleo de un átomo en presencia de una intensidad de campo magnético determinada (más propiamente dicho, de una densidad de flujo magnético). La frecuencia de dicha radiación toma un valor muy preciso que depende de la intensidad de campo magnético aplicado y de las propiedades del átomo.

Al no generar radiación ionizante –como sucede con los rayos X– la inocuidad del estudio ha hecho que su empleo en el fútbol trascienda el diagnóstico de lesiones. Así el



médico Óscar Edson Campuzano Ruíz –especialista en medicina física y rehabilitación, responsable médico de *Gallos Blancos de Querétaro*–, efectúa exámenes de resonancia magnética a los jugadores de nuevo ingreso en cada pretemporada con la finalidad de conocer su estado actual y las secuelas de lesiones previas.

“La institución invierte millones de dólares en el contrato de nuevos jugadores, por lo que hay que valorarlos exhaustivamente y garantizar así su desempeño óptimo en el campo. Existen lesiones previas o crónicas que no presentan síntomas clínicos y es en esos casos, en los que la resonancia magnética juega un papel fundamental. A todos los jugadores nuevos les es practicada una resonancia magnética de ambas rodillas y, dependiendo de su historia clínica, de pelvis y tobillos”, explica.

Visto por el paciente, un resonador magnético es un equipo formado por un túnel, en torno al cual está dispuesta una bobina superconductora, dentro de la que es desplazada una camilla con el paciente recostado para la realización del estudio. La permanencia dentro de él oscila entre 30 y 60 minutos; no causa dolor alguno y tiene como únicos inconvenientes el ruido producido por la máquina y la necesidad de sedación en caso de claustrofobia.

La técnica imagenológica no requiere preparación especial, aunque restringe su aplicación a personas con marcapasos cardíaco u otros aditamentos médicos con piezas metálicas (como ser, implantes cocleares, endoprótesis vasculares, ciertas válvulas cardíacas). Por lo mismo, es necesario que las personas se despojen de artículos como joyas, relojes, tarjetas de crédito, navajas, prótesis dentales, que podrían alterar el resultado.

La generación de imágenes por resonancia magnética se basa en el comportamiento del núcleo del átomo de hidrógeno (H), formado por un sólo protón, elemento además predominante en el cuerpo humano al formar parte del agua (H<sub>2</sub>O), la cual constituye de 40 % a 60 % del peso de un adulto promedio.

El fundamento físico de la operación de un resonador magnético radica en dos tipos de movimientos propios de los núcleos atómicos: el movimiento giratorio o *spin*, alrededor de su eje, y el movimiento de precesión (una traslación alrededor de la dirección del campo magnético sin dejar de girar alrededor de sí mismos, de manera similar al movimiento de un trompo o peonza girando que precesa al tratar de alinearse con la vertical).

Cuando un paciente es sometido al campo magnético del resonador, los núcleos de los átomos de hidrógeno, como pequeños imanes, tratan de alinearse con el campo magnético y precesan; sin embargo, no todos se alinean perfectamente y no todos lo hacen en la misma dirección: unos lo hacen en dirección al campo (sentido paralelo–estado de baja energía) y otros al contrario de éste (sentido antiparalelo–alta energía).

De acuerdo con el responsable técnico de la Unidad de Resonancia Magnética del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México, el MSC Juan José Ortiz Retana, “La proporción de núcleos en cada uno de los dos estados, para un resonador de 3 T a temperatura ambiente, es de un millón más seis núcleos alineados en dirección del campo magnético por cada millón que lo hace en la dirección opuesta. Esos seis núcleos de diferencia son los que permiten generar la imagen por resonancia magnética”.

Una vez aplicado el campo magnético primario proporcionado por la bobina superconductora se produce un segundo campo magnético en una secuencia de pulsos con una cierta frecuencia; cuando esta frecuencia toma un determinado valor provoca que la dirección de los núcleos en estado de baja energía cambie al estado de alta energía y, poco tiempo después, los núcleos modificados regresen a su estado inicial emitiendo esa energía ganada previamente en la forma de una onda electromagnética.



El empleo de técnicas imagenológicas incrementa la certeza en el diagnóstico y la precisión en la localización de la lesión.  
Foto cedida por CENAM

Una bobina receptora de radiofrecuencia es la encargada de detectar la señal emitida por los núcleos al regresar a su estado inicial para su posterior procesamiento y conversión computacional en imágenes tridimensionales del cuerpo humano.

El producto final consta de la información tridimensional del cuerpo, que puede visualizarse desde distintas posiciones o en forma de un video con las principales secuencias realizadas y la impresión de algunos detalles de éstas. La nitidez de la imagen se incrementa con la densidad de flujo magnético aplicado.

El especialista en rodilla y médico particular de jugadores de *Gallos Blancos de Querétaro*, Fidel Dobarganes Barlow, considera que el incremento de la densidad de flujo magnético de los resonadores ha ocasionado, incluso, el desplazamiento de estudios que utilizaban antes. “Con los equipos de 3 T ya no necesitamos emplear contraste en la rodilla. Anteriormente, cuando los equipos eran de 0,5 T, se hacía mayor uso de ella (de la técnica de contraste); actualmente, hacemos una cada mil casos de lesiones de rodilla”.

Las instituciones de salud, al ofrecer estudios de imagenología, señalan la densidad de flujo magnético con la que operan sus resonadores magnéticos (medida en teslas) y la relacionan con la calidad diagnóstica de los mismos. Así, los hay de 1 T, 1,5 T y 3 T. No obstante, las instituciones dejan poco claro el significado de tales medidas y la implicación que tienen sobre la imagen obtenida.

Hablemos ahora del tesla, unidad de medida de la densidad de flujo magnético, cuyo símbolo es una “T” por convención internacional. Adoptado en París, durante la cuarta sesión de la XI Conferencia General de Pesas y

Medidas en octubre de 1960, el tesla (T) fue incorporado al Sistema Internacional de Unidades (SI) como unidad de densidad de flujo magnético o inducción magnética. Una designación que respondió a la propuesta de la Comisión Internacional de Electrotécnica (IEC) de reconocer las aportaciones del inventor Nikola Tesla, al convertirlo en el quinceavo científico cuyo nombre bautiza una unidad de medida. El tesla es una unidad de medida definida como weber por unidad de área ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ ), la cual mide el valor de la densidad de flujo magnético en un punto dado del espacio en un instante dado.

Cabe destacar que los equipos utilizados en la clínica tienen como límite 3 T; en comparación, la densidad de flujo magnético en nuestro planeta tiene valores de alrededor de  $50 \mu\text{T}$  (50 millonésimas de tesla).

Con el propósito de dar confiabilidad y uniformidad a las mediciones de densidad de flujo magnético realizadas en un país –esto es, que los resultados de dichas mediciones sean equivalentes sin importar el instrumento, el lugar o la persona que las efectúe– es necesario que los instrumentos que se utilizan para realizar las mediciones (magnetómetros o teslámetros) estén referidos a patrones de medida cuyos valores sean aceptados internacionalmente.

Los Institutos Nacionales de Metrología realizan trabajos de investigación y desarrollo tecnológico para establecer los patrones de medida, que son referencia de medida a nivel nacional para diversos sectores productivos y de salud. En el caso de la densidad de flujo magnético, el patrón de medida correspondiente se materializa en México a través de una bobina de Helmholtz y un magnetómetro de resonancia magnética nuclear. De no contar con estas referencias, los magnetómetros utilizados para asegurar el adecuado funcionamiento de los equipos de resonancia magnética nuclear podrían dar lugar a resultados equivocados que pudieran poner en riesgo la salud de los pacientes.

Como en todo campo de la cotidianidad humana, el diagnóstico de las lesiones más comunes del fútbol profesional no ha quedado exento de la contribución de la metrología; un aspecto por momentos imperceptible pero fundamental en el aseguramiento, en este caso, de la correcta operación de un instrumento de diagnóstico por imágenes.

JULIETA ESPINOSA (MÉXICO)



El empleo de técnicas imagenológicas incrementa la certeza en el diagnóstico y la precisión en la localización de la lesión.  
Foto cedida por CENAM

Ilustraciones páginas 44-45:  
nikolas tesla serbian banknote  
dinar © diegobib - Fotolia.com,  
Set of silhouettes of thunderstorm  
lightning © vertyr - Fotolia.com



# Fuerzas físicas, tecnología y azar en juego

El fútbol, desde sus orígenes, es un deporte cuyo resultado depende exclusivamente del número de aciertos en el intento de introducir un balón dentro de un arco. El gol es la estrella y el grito *de gol* desde las tribunas es el objetivo de todos los sentimientos que nuclea este juego.

¿Sabrán todos los espectadores y los actores en el escenario de una cancha que este éxito depende esencialmente de las leyes de la física? ¿Sabrán que el conjunto jugador-pelota-escenario implica una habilidad donde el jugador controla por un instante (el del gol) gran parte del universo físico que lo rodea? ¿Sabrán que en ese instante el jugador logra la concurrencia apropiada y simultánea de fuerzas tales como el peso de Isaac Newton, la resistencia de George Stokes, el empuje de Arquímedes, la sustentación de Daniel Bernoulli y el arrastre termodinámico de Robert Boyle, que logran la maravilla? En este artículo nos proponemos desentrañar estos hechos significativos.

## El Tiro Libre

Una de las mayores chances de gol es cuando se ejecuta un tiro libre; por lo menos es lo que ciencia nos dice. ¡La tribuna también lo sabe! ¿Por qué y de qué depende que en un tiro “de pelota quieta” haya más chance de convertir un gol? ¿qué explicación pueden aportar la ciencias físicas? ¿qué incidencia tiene la tecnología aplicada a la confección de las nuevas pelotas?

Para intentar explicarlo pongamos a la física en juego. Lo primero a tener en cuenta es que la pelota por sí sola no entra al arco; es el jugador quien debe ponerla en movimiento. La física nos dice que cuando dos objetos interactúan entre sí generan una relación de causa-efecto, así que la habilidad del jugador en su interacción con la pelota es clave.

En segundo lugar, la física también nos dice que sobre un objeto quieto (la pelota) el dominio, el control de la acción que se ejerce sobre él, es mucho mayor. El azar no juega un papel tan preponderante. En el tiro “de pelota quieta” el jugador puede decidir cómo apoyar la pelota (que no quede hundida en el pasto, por ejemplo); puede elegir el lugar para darle el puntapié (el cuadrante y la altura del

contacto con el zapato); puede regular la fuerza que la impulse, y puede decidir cómo colocar su pié para dar el golpee (con cara externa o cara interna del pie, de punta, de empeine o de taquito). Por eso aumenta muchísimo la probabilidad de acertar un gol.

Muy distinto es lo que puede decidir el jugador cuando la pelota no está quieta, cuando viene en vuelo, por ejemplo. En ese caso, ella misma ya trae una velocidad, viene con *spin* (con efecto), está en caída o en subida. Con todas esas variables en juego, controlar su movimiento se convierte en una tarea muy compleja y el azar tiene un alto porcentaje de incidencia. Así vemos que buenos jugadores producen tiros que uno no se explica cómo pueden haber sido. En esos casos, el azar juega un papel importante.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la tecnología. Las nuevas tecnologías aplicadas al diseño de las pelotas han comenzado a jugar un rol cada vez más importante. De hecho en el Campeonato del Mundo de Sudáfrica de 2010, la *Jabulani* fue el elemento sorprendente y sorpresivo, muy lejos de comportarse como las vejigas infladas o las pelotas de trapo que se usaron en los comienzos del fútbol.

Sigamos con las ciencias. Para poner el balón en movimiento el pie del jugador deberá hacer contacto aplicando una fuerza impulsora, que posteriormente no acompañará al balón en su trayectoria. En ese contacto, casi instantáneo, la fuerza impulsora será la responsable de transferir energía al balón, esencialmente energía cinética que depende de la velocidad. Como plantean Courty y Kierlik en su libro *El Fundibulo del Futbolista*, la pierna del jugador desarrolla un movimiento de “péndulo doble” similar al de las catapultas-fundíbulos usadas en la Edad Media como armas de lanzamiento. En la patada el muslo del jugador, llevado por el fémur, rota respecto de la cadera; mientras que los músculos de la pantorrilla, llevados



por la tibia, rotan respecto de la rodilla. El momento preciso del impacto del pie con el balón debe ser cuando fémur y tibia estén alineados y la pierna completamente estirada. En este momento la velocidad de la rotación de la pierna en la punta del pie será de aproximadamente 5,5 revoluciones por segundo, lo que equivale a una velocidad lineal de unos 60 km/h. Debido a la gran diferencia de masas de los objetos que interactúan (pierna y balón), el balón saldrá despedido a mayor velocidad: unos 100 km/h. Los jugadores más habilidosos logran velocidades del balón de 120 a 130 km/h.

Esta destreza biomecánica requiere de mucho entrenamiento. Es un entrenamiento que consiste en tensar los músculos motores del muslo y la pantorrilla, aprovechar las articulaciones de la pierna para generar una doble rotación y concentrar toda la velocidad en el punto de contacto pie-balón. Para un jugador habilidoso, este proceso consistirá en imaginar que es su propio pie lo que está lanzando.

La velocidad transferida y el ángulo de disparo serán las dos variables que el jugador deberá controlar para superar una barrera defensiva (altura) y desafiar al golero (alcance).

Una vez que el balón se encuentra en movimiento luego de un tiro libre de cancha, un penal o un corner, actuarán fuerzas físicas sobre él que las podemos identificar como: el peso (porque en la Tierra todo objeto por tener masa, pesa); el empuje que es una fuerza que descubrió Arquímedes (“Eureka!!!”) y es la responsable de que los cuerpos inmersos total o parcialmente en un fluido floten; la resistencia o fuerza de arrastre que ejerce el aire sobre un objeto en movimiento y la sustentación, que es la fuerza que hace el aire sobre las aves y los aviones (lo que les permite volar o planear).

Tanto la fuerza de arrastre como la sustentación dependen de la velocidad relativa del balón respecto de la del aire que lo rodea; el arrastre tiende a frenarlo porque actúa en sentido contrario al del desplazamiento, y la sustentación tiende a elevarlo porque actúa en dirección perpendicular a su desplazamiento. De la composición de estas cuatro fuerzas resultará el recorrido que hará el balón.

Pero sin la habilidad del jugador estas fuerzas son inútiles. Cuando decimos que un jugador es habilidoso nos referimos a su capacidad de “intuir” cómo se comportarán estas fuerzas en ese momento, basado en su experiencia y constante entrenamiento. Esta habilidad no la adquirió por resolver ejercicios de física todas las noches en su casa, luego de los entrenamientos. La mayor parte de los deportes que implican una actividad física están directamente vinculados con fenómenos estudiados por la física. Esto no implica que quien los practica deba hacer un curso y plantearse fórmulas. Por el contrario, un gran número de acciones son realizadas de manera totalmente intuitiva, pero no por ello menos eficaz.

Volvamos a las fuerzas. El peso, que depende de la masa y de la aceleración de la gravedad (que varía según el lugar

en que se encuentre). La masa de una pelota oficial FIFA debe estar entre 420 y 445 g.

El arrastre, que es proporcional a la velocidad de la pelota: a mayor velocidad, mayor resistencia ofrece el aire.

El empuje, que está determinado por el volumen y la densidad del aire. A un balón FIFA que tiene un perímetro de 69,0 cm le corresponde un empuje casi despreciable de 1,40 newtons.

Cuando la pelota de fútbol gira en torno de su centro existe una fuerza perpendicular a la velocidad que es la fuerza clave que imprime “efecto” a la pelota. Entonces cuando se encuentra en vuelo, además de la trayectoria naturalmente curva de subida y caída que describirá (como el tiro de un cañón), también hará una curva lateral, de derecha a izquierda. La consecuencia será un doble efecto: arriba-abajo y derecha-izquierda. Este “efecto” se conoce con el nombre de efecto Magnus en homenaje al físico alemán Heinrich Magnus que lo describió en 1852, antes de que se inventara la pelota de fútbol moderna. (Aunque haciendo justicia con la verdad, el propio Isaac Newton ya lo había notado en el siglo XVII observando jugar al tenis en Inglaterra). Según Magnus, todo objeto esférico que se desplaza a través de un fluido –como un balón a través del aire– adquiere un giro sobre su propio eje y genera una pequeña turbulencia a su alrededor que lo empuja en la dirección perpendicular a su trayectoria, de modo que lo desvía.

Así que, según dónde sea el contacto y el puntapié, será el recorrido que haga la pelota, superando la altura de la barrera o pasando por su costado, para que resulte de la manera más sorpresiva para el golero. Si además el puntapié del jugador genera desde el mismo inicio un movimiento de *spin*, mejor aún.

## ¿Cómo lograrlo?

Para entenderlo debes imaginar la pelota de frente como un círculo plano que se puede dividir en cuatro cuadrantes. Para que la pelota se eleve siempre habrá que patearla de la línea de su ecuador hacia abajo. Cuanto más abajo se golpea, más se elevará; pero también más giro antihorario respecto a su eje horizontal adquirirá, con lo cual caerá más rápido. Si además el jugador tiene el arte de golpearla con su pie derecho en el cuadrante inferior derecho de la pelota, ella adquirirá *spin* o efecto (girá sobre sí misma respecto de su eje vertical, igual que gira la Tierra respecto del eje nort-sur) y describirá una segunda curva que se combinará con la curva de subida y bajada y producirá una trayectoria hacia la derecha, en subida y bajada (“comba” hacia la derecha). Si el golpe de pie derecho es sobre el cuadrante izquierdo inferior, la trayectoria será con “comba” hacia la izquierda.

La velocidad de giro respecto de su eje vertical (*spin* o efecto) dependerá de la posición del pie en el momento de



contacto: si fue “de punta”, o con la cara interna o externa del pie. En cuanto a la distancia de caída (alcance), ésta quedará determinada por la fuerza impulsora del golpe.

## Otro protagonista: el balón

A medida que han progresado los materiales y la tecnología de fabricación, FIFA ha ajustado más y más los diseños de balón. El perímetro de la pelota oficial es de 69,0 cm y su masa es de 437 g. Para la pelota mojada, el aumento de masa por absorción de agua permitido por FIFA es de 10 %. Además durante las pruebas, un robot estándar debe patear la pelota no menos de 3500 veces para luego medir la deformación y el cambio de presión del aire interior.

La *Jabulani*, para la Copa Mundial de Sudáfrica, fue diseñada con materiales y texturas tales que resultó una máquina de volar con la destreza de las aves más especializadas. La maravilla de una pelota con vida, aunque jugadores y goleros protestaron por ello diciendo que se parecía a una pelota de playa.

Esta pelota se deformaba muchísimo en los cabezazos y en las patadas, se hundía (esto no ocurría con las anteriores que eran más rígidas) pero al tener dos capas internas elásticas (una, la goma de la cámara y otra, un material elastómero, es decir un tipo de fibra elástica intermedia de casi 5 mm), hicieron que estos materiales por su naturaleza física capturaran mucha energía en la deformación, que no la devolvían instantáneamente.

Esto es fácil de comprender para nuestros lectores si piensan en cuando se estira un resorte (que es un elástico) con un objeto colgando de él. El resorte se deforma y oscila hasta que, después de un cierto tiempo, se detiene; cuando ya ha entregado la máxima energía que le es posible.

El nuevo diseño y los nuevos materiales usados en la construcción de Jabulani actuaban de esta manera y lo mismo que pasa en el resorte ocurría en la pelota. Cuando el jugador golpeaba el balón, un 60 % de la energía quedaba almacenada en la vibración del material elástico que no la perdía enseguida (igual que el resorte del ejemplo). El balón volaba temblando y vibrando. Su naturaleza muy aerodinámica debido a su superficie lisa hacía que el roce con el aire fuera mínimo y por lo tanto perdía muy poco de la energía que traía. Esta característica de gran sustentabilidad daba la sensación de ser una pelota más liviana. Pero cuando picaba en el piso, al quedar momentáneamente estática, toda la energía de vibración interna se convertía en energía cinética y la pelota salía con mayor velocidad, sorprendiendo a goleros y defensas, vulnerándolos con mucha más facilidad, o exigiendo a los atacantes desplazarse a mayor velocidad para llegar a un pase profundo. A esto se le llamó “pelota viva” porque llevaba vida dentro de ella, llevaba energía que se manifestaba cuando el balón picaba en el suelo. En Sudáfrica la tecnología aportó un juego diferente, vivo, rápido, exigente.

*Brazuca*, para la Copa Mundial de Brasil, fue diseñada por Adidas y se logró una conformación casi perfectamente esférica, lisa y elástica, capaz de acumular la energía de la patada del jugador. La principal novedad fue la técnica de seis paneles con forma de hélice que constituyen la capa superficial del balón. Esta nueva tecnología otorga mayor consistencia, estabilidad y agarre, y soluciona la mayor parte de los problemas de la *Jabulani*. En comparación con la elaborada para el Mundial de 2010, *Brazuca* presenta dos paneles menos, lo que otorga también mejor aerodinámica, permitiendo que se traslade más en línea recta, sin vacilaciones y sin ser más rápida en su trayectoria. A su vez, la presencia de una superficie sintética muy unida entre sus partes permite evitar la humedad y posibilita que no exista peso añadido en el cuerpo del balón cuando el terreno está mojado.

Pero a esta altura del análisis de un balón en vuelo, la física vuelve a introducir un nuevo elemento: la termodinámica del aire. Debemos combinar ahora el vuelo con la termodinámica. Las corrientes isotérmicas presentes dentro de un estadio de juego (generadas por el vapor que se desprende verticalmente desde el suelo del campo por el calor desprendido por las personas presentes en las tribunas de un estadio lleno y, de noche, por el calor transportados por los focos de luz de la iluminación artificial) comienzan a incidir por encima de los 3 metros de altura del piso. El calor ambiental colabora también a conseguir un mejor efecto Magnus, porque modifica la densidad del aire: el aire más caliente sube porque es menos denso, y el aire más frío baja porque es más denso. Cuanto más gire la pelota y cuanto mayor sea la densidad del aire, mayor será el “efecto”. Esta es la razón por la que resulta más fácil patear con “efecto” una pelota en invierno que en verano, porque, como dijimos, el aire frío tiene mayor densidad que el aire caliente. Sucede lo mismo cuando se juega un partido en la altura (por ejemplo en La Paz) donde el aire es menos denso y por lo tanto es más difícil darle “efecto”.

Cuando la pelota alcanza los 3 metros de altura los efectos termodinámicos se asocian a las demás fuerzas que actúan sobre la pelota y ella modifica su trayectoria, haciendo figuras, trazando un recorrido inesperado, sorpresivo y finalmente traspasa la línea del gol, dejando sin chance la acción del golero.

Si a toda esta física le agregas mucha movilidad de los jugadores, inteligencia colectiva y factor sorpresa seguramente tu equipo haya gritado “¡¡¡Gooooool, qué no ni noooooo!!!”

CARLOS VERA (URUGUAY)

Fotos página 47: Diego Forlán, goleador de la selección de Uruguay, es un claro ejemplo de la destreza biomecánica y dominio en los tiros de pelota quieta que se logran con horas de entrenamiento. Foto obtenida durante el partido Uruguay-Eslovenia en el Estadio Centenario, previo al inicio del Mundial 2014 @ Nicolás Pagliaro (Uruguay), Fondo Da Vinci @ Silvana Demicheli.

Fondo páginas 48-49: Fondo Da Vinci @ Silvana Demicheli



# La luz: protagonista en los estadios deportivos

La iluminación ha tenido un lugar destacado en la marcha de las civilizaciones. Desde el fuego, primera forma artificial de reemplazar la luz del sol que empleó el hombre primitivo, hasta las luminarias que hoy se utilizan en los estadios y que transforman la noche en día, el cambio tecnológico ha sido enorme. El porqué de la era del led.

La iluminación se ha convertido en sinónimo de civilización. Lo presiente todo aquel que realiza un viaje en avión de noche y que de pronto divisa un manto de luces tapizando el suelo en medio de la oscuridad.

La falta de luz y de suministro eléctrico, en cambio, se relacionan con lejanía de los conglomerados urbanos y representan una de las peores pesadillas de todos los que nos hemos habituado a encender y apagar la luz a voluntad.

Luz y bienestar se conjugan en tal sintonía que la luz suele imbuirse de una suma de valores positivos que, en contraposición, le faltan a la oscuridad. “Mentes iluminadas”. “La verdad hecha luz”. “La luz al final del camino”. “Seres de luz”. Son todos conceptos que evocan la trascendencia, la verdad, el conocimiento, haciendo de la luz mucho más que el resultado de pulsar un interruptor.

Es posible que Thomas Edison fuera consciente de este valor agregado que presenta la luz cuando logró que la primera lámpara incandescente, o foco eléctrico, permaneciera encendida durante 48 horas seguidas, hacia 1879. De lo contrario, resulta llamativo que a pesar de ser considerado uno de los más fructíferos inventores (patentó más de mil creaciones, entre ellos un coche eléctrico, una película sonora y el fonógrafo) se lo recuerde especialmente por la invención de la lámpara incandescente que hoy se sabe que sólo mejoró, pero que en realidad fue concebida en el laboratorio por otros inventores. Se trata del alemán Heinrich Göbel, quien diseñó la primera bombilla de luz en 1854, y del británico Joseph Swan que, además de patentar su hallazgo antes que Edison, lo dio a conocer en la revista *Scientific American*.

## De las cavernas al alumbrado público

Pero entre el fuego que usó el *Homo erectus* para iluminar las cavernas y la lamparita de Göbel, Swan y Edison, ¿qué sucedió? En el antiguo Egipto, alrededor del 3000 a.C.,

se alumbraba con piedras ahuecadas rellenas de aceite y fibras vegetales como mechas. Los griegos y romanos empleaban lámparas de bronce o arcilla, que encendían con distintos tipos de aceite vegetal. En la Edad Media, se utilizaron velas fabricadas con sebo de animales, cera de abejas o parafina.

Fue recién en 1780 cuando el químico suizo Aimé Argand creó una lámpara que lograba generar una luz intensa (de entre 6 y 10 candelas) por medio de una mecha hueca que hacía posible que el aire alcanzara la llama. Su invento sentó las bases de la lámpara de kerosén, la que incluiría un cilindro de vidrio para proteger la llama. Hacia 1815, el alumbrado público estaba constituido por lámparas de gas, que como rasgo distintivo presentaban un parpadeo continuo; en 1879, siguieron las lámparas incandescentes o eléctricas (las que mejoró Edison), que luego en el siglo XX fueron dando paso a una gran variedad de opciones. Las lámparas de vapor de mercurio, desarrolladas comercialmente hacia fines de 1930, fueron presentadas en la Feria Mundial de Nueva York tres años después en formato de tubo alargado de vidrio, muy similar al que conocemos hoy. En ellas, la luz se genera al pasar un arco eléctrico a través de una mezcla de gases.

En 1950, se conoció la de tungsteno halogenado, variante de la lámpara incandescente pero con mayor rendimiento y vida útil, así como la lámpara de sodio de alta presión, cuya alta eficiencia (produce una gran cantidad de lumens por watt), la convirtió en sinónimo de alumbrado público. Una de sus características es el color amarillo brillante de la luz que ofrecen.

## La era del led

En la década del 60 nacieron las lámparas de halogenuros metálicos que, por su alta potencia, originalmente se usaron sólo en la industria; integran el grupo de las lámparas llamadas HID (del inglés, *High Intensity Discharge*). Una de sus desventajas es que producen luz no-direccional,



haciendo necesario el uso de reflectores para garantizar que los haces de luz se dirijan a la dirección deseada.

Luego se desarrollaron las lámparas fluorescentes compactas, que irrumpieron hacia 1980, y en 1991 la lámpara fluorescente sin electrodos.

El principio que posibilita el funcionamiento del led (del inglés, *Light Emissor Diod*) fue revelado en 1903 por Oleg Vladimirovich Losev, un técnico de radio nacido en Rusia, reconocido muchos años después como su inventor. Losev descubrió la electroluminiscencia de los materiales semiconductores al ser atravesados por una corriente eléctrica. Eso llevó varios años después al diodo emisor de luz roja, el que en sus comienzos era empleado para iluminar el *display* de televisores y de equipos de música (el minúsculo circuitito rojo o verde que dice “apagado” o “encendido”).

En la década de 1990 se desarrollaron los diodos que emiten luz azul, los que combinados con diodos rojos y verdes permiten la existencia de las lámparas de luz blanca. Ese descubrimiento ha valido a los investigadores japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura el Premio Nobel de Física 2014.

Hoy utiliza esta tecnología en carteles publicitarios de tamaños impensables años atrás, iluminados aún a plena luz del día, como el que cubrió el frente del Estadio de San Pablo (el *Arena Corinthians*) que estrenó durante el Mundial de Fútbol de Brasil un telón de luces de 3400 m<sup>2</sup> (170 m de ancho por 20 m de alto), en el que se entretejían 200 mil leds.

Considerada como la tecnología más promisoriosa de los próximos años, el desarrollo del led aún tiene cuentas pendientes. Por ahora su valor comercial está lejos de favorecer su uso masivo (falta más investigación y desarrollo), y básicamente quien quiera iluminar su hogar con leds no encuentra muchas más opciones que las lámparas de escritorio u otras aplicaciones muy puntuales. No obstante, el terreno ya ganado es importante: los leds son hoy alrededor de 1000 veces más eficientes que un farol de llama; se añade como ventaja su larga vida útil (puede alcanzar los 20 años, con un promedio de encendido diario de alrededor de 5 horas), su pequeño tamaño y el hecho de que no produce calor. Un dato que cobra importancia es que los leds pueden utilizarse con fuentes de energía de baja potencia como la solar.

Eso podrá beneficiar en un futuro a más de 1 500 millones de personas en todo el mundo que carecen de acceso a las redes de electricidad, tal como consignó el Jurado del Premio Nobel de Física al anunciar la premiación del led. En términos de iluminación de estadios es cada vez más probable que el próximo Mundial se juegue bajo luces de led.

Recordemos que el *Mineirão*, en Belo Horizonte, se convirtió en el primer estadio mundialista iluminado por medio de energía solar. Seis mil placas fotovoltaicas, instaladas en el techo, con células de silicio, transformaron la luz del sol



El *Mineirão* en Belo Horizonte es el primer estadio en el que se juega un Mundial iluminado por energía solar. Son seis mil placas de energía solar instaladas en el techo del estadio. En este estadio se jugaron seis juegos del Mundial Brasil 2014.  
Foto: <http://www.brasil.gov.br/centrais-de-conteudo/imagens>

brasileño en energía eléctrica a lo largo de una superficie de 11 500 m<sup>2</sup>. La capacidad instalada de generación de energía de la planta es de 1600 megawatt/hora por año, lo suficiente como para abastecer 1200 hogares brasileños, de acuerdo con el sitio del gobierno de Brasil sobre la Copa Mundial de Fútbol (<http://www.copa2014.gov.br>).

## Goles bajo la luz

La iluminación en los estadios deportivos presenta requerimientos específicos que difieren de los de la industria, hogares y alumbrado público. A su vez, esas exigencias varían dentro de la misma cancha, teniendo en cuenta si el evento es televisado o no, y dentro de ese rango, si es de alcance nacional o internacional (véase Cuadro 1).

En realidad, la FIFA hace hincapié en que el sistema de iluminación que se instale en los estadios deportivos debe cumplir con los requisitos de los medios de comunicación, de los espectadores, de los jugadores y de los oficiales, todo ello sin contaminar lumínicamente el entorno.

La tarea no es sencilla, en especial si se considera que en el Mundial de Sudáfrica, por ejemplo, casi 50 mil espectadores en promedio presenciaron los partidos, registrando una demanda de potencia eléctrica de 56 MW<sup>1</sup> (el equivalente al consumo de energía eléctrica de 56 000 hogares) producidos por 253 equipos electrógenos. Por ese motivo, en los estadios suele realizarse una cuidadosa evaluación, tanto del suministro de energía eléctrica como de los grupos electrógenos, con el fin de asegurar el abastecimiento de emergencia y brindar soporte de potencia en caso de producirse una interrupción en el servicio.

<sup>1</sup>MW = megawatt  
W(watt) es la unidad de potencia eléctrica y potencia es la energía consumida por unidad de tiempo; la unidad de energía eléctrica más usada es el Wh.

“¿Cómo se calcula la iluminación de un estadio? Se parte del requerimiento en función de la aplicación (véase Cuadro 1), y después hay que conocer la distribución espacial de la intensidad luminosa de las luminarias proyectoras que se van a emplear”, dice el ingeniero Eduardo Yasan, responsable del Laboratorio de Luminotecnia del Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina (INTI).

El especialista explica que se utilizan programas de cálculo que toman la distribución de los artefactos mencionados y calculan sobre una grilla en la superficie del campo de juego qué intensidad luminosa va a tener, considerando el ángulo donde está emitiendo luz para cada punto de la grilla en la cancha. “Así, se termina cuadrículando todo el estadio en sectores de 5 m × 5 m, donde se considera la distribución uniforme y se determinan los valores de iluminancias horizontales y verticales (en lux) en cuatro direcciones para cada punto, determinando los valores medios, máximos y mínimos para verificar si las uniformidades están de acuerdo con las exigencias”—añade Yasan y explica que estos valores son verificados mediante mediciones de campo—.

Ese cálculo que luego incluye una fórmula matemática, debe hacerse para cada punto del estadio y para cada proyector. Aunque los especialistas lo explican como si fuera sencillo, no debe haber sido fácil estimar la luz necesaria para iluminar correctamente el estadio carioca del *Maracanã*. Su superficie, de 105 m × 48 m, se iluminó con 396 lámparas de mercurio halogenado, de 2000 W de potencia.

De acuerdo con las disposiciones generales de la FIFA, todos los partidos se tienen que disputar con iluminación artificial, debiendo los estadios disponer de un alumbrado que garantice la iluminación uniforme de todo el terreno de juego del orden de los 2000 lx<sup>1</sup>. Cuando el partido se televisa, la altura de montaje de las luminarias es crucial para lograr una buena iluminación. Es por ello que las normas establecen “para los bastidores de focos laterales y postes de luz un ángulo de 25 grados hacia la base de la fuente luminosa más baja sobre el horizonte, medidos desde el centro del campo y mirando hacia las tribunas”, según dice la citada guía de la FIFA, la que agrega que: “Los ángulos de rotación de las luminarias no podrán exceder los 70 grados desde el nadir (directamente abajo) hasta el centro del haz”.

“Eso se debe básicamente a las largas distancias que hay que cubrir con la luz. El ángulo que se traza respecto de la horizontal busca evitar que la luz entre dentro del campo visual de los jugadores, para no deslumbrarlos. Por eso la iluminación se ubica alta, y “alto” en un estadio equivale a muchos metros, 70 tal vez. Hay que tener presente que el campo de juego tiene una superficie del orden de los 100 m × 50 m, y si se emplean torres, suelen colocarse hasta 30 o 40 metros fuera del campo de juego”, dice el técnico Mario Bonnano, del Laboratorio de Luminotecnia del INTI.

“Cuando la iluminación del campo deportivo se realiza desde cuatro columnas laterales, suelen verse las cuatro sombras del jugador en la cancha. Para evitar este efecto

<b>Clase V</b>	Partido internacional televisado	Campo sin sombras
<b>Clase IV</b>	Partido nacional televisado	Campo sin sombras
<b>Clase III</b>	Partido nacional no televisado	Campo iluminado con un mínimo de 8 postes
<b>Clase II</b>	Partido de liga y/o clubes no televisado	Campo iluminado con un mínimo de 6 postes (recomendado)
<b>Clase I</b>	Entrenamientos y juegos de recreo no televisados	Campo iluminado con un mínimo de 4 postes (recomendado)

Cuadro 1: La FIFA establece cinco clases de sistemas de iluminación (I a V). Dos de ellos necesitan calidad televisada y las otras tres son para eventos no televisados (Fuente FIFA).

## Su majestad la TV

A pesar de la diversidad de actores que componen un partido mundialista hay consenso en que la transmisión televisiva “manda” a la hora de planificar la iluminación. Es así como la guía *Estadios de Fútbol, recomendaciones técnicas y requisitos* de la FIFA, organismo responsable de la organización de estos eventos, establece que durante el desarrollo de los partidos el campo no debe presentar ninguna sombra. Y es que el alcance de estos encuentros no ofrece lugar a la improvisación: en el Mundial de 2010 los canales de TV de 214 países transmitieron las 2750 horas de señal producidas.


suelen disponerse los proyectores en forma más uniforme; tal es el caso de la disposición en cintas de luz en todo el perímetro del estadio”, afirma Yasan.

## Temperatura de color y reproducción cromática

Con frecuencia nos referimos a los colores diciendo que son cálidos (como el rojo) o fríos (como el azul). Pero en realidad, la temperatura de color nada tiene que ver con esta consideración cultural. Los especialistas la definen como la expresión de la distribución espectral de la energía de una fuente luminosa y, por tanto, de su calidad de color. Se expresa en kelvin (K), que se obtienen sumando 273,15 a los grados Celsius.

<sup>1</sup>Lux es la unidad de iluminancia del SI – Sistema Internacional de Unidades, que equivale a la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de un lumen por metro cuadrado.





Cuando se dice que una fuente luminosa tiene una temperatura de color de 1000 K, por ejemplo, significa que habría que calentar un cuerpo negro a esa temperatura para lograr que emita una radiación luminosa de similar color a la de la fuente en cuestión. En tal sentido, el color de una lámpara incandescente se correlaciona con la de un cuerpo negro a 2854 K también conocido como iluminante A; y el de un tubo fluorescente tipo *Luz Día* (luz azul clara), con la de un cuerpo negro funcionando en el orden de los 6000 K.

Tanto la temperatura de color como el índice de reproducción cromática son medidas que se emplean para definir una fuente luminosa. Este último es una medida de la capacidad que tiene esa fuente luminosa para reproducir fielmente los colores de los objetos, en comparación con una fuente de luz natural o ideal.

Las fuentes luminosas se clasifican del 0 al 100, siendo la fuente que tiene 100 la que mejor reproduce los colores de cuerpos expuestos a esta luz. Una lámpara incandescente, por ejemplo, posee en su emisión cromática todos los colores del espectro visible, pudiendo por ello alcanzar una valoración de 100 en este parámetro. Una lámpara de mercurio de alta presión, en cambio, carece en su espectro visible de ciertos colores, produciendo una menor reproducción cromática que podría ubicarse en el orden de 60.

Para los estadios, la FIFA recomienda utilizar lámparas de mercurio halogenado que presentan un alto grado de reproducción cromática, favoreciendo la visualización del espectáculo.

Sin duda, todos estos datos son clave a la hora de planear la iluminación. Aunque, tratándose de estadios de fútbol, ¿cómo influirá en el cálculo total de iluminación la luz interior que emite cada uno de los hinchas cuando su equipo marca un gol?

CLAUDIA MAZZEO (ARGENTINA)




Foto arriba: Iluminación de un estadio de fútbol © teerawatyai - Fotolia.com

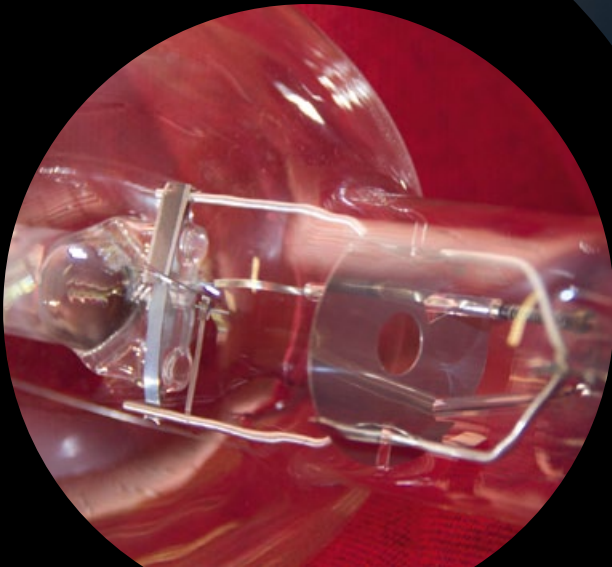


Foto medio y abajo: Reflector utilizado en las torres de iluminación de los estadios. Fotos cedida por INTI.





Hoy en día ya no nos conformamos con poder, por lo menos, seguir a nuestro equipo por televisión. Exigimos cada vez mayor calidad en las imágenes y el sonido que recibimos durante el partido. En este desafío la metrología también juega un rol muy importante, contribuyendo a los desarrollos que hoy se reflejan en los MP3, cámaras y televisores de alta resolución.





**En vivo y en directo**



# Luces... cámaras... Fútbol!

Siete treinta de la mañana. Los estudiantes del curso Tecnología y Comunicación ya están listos para tomar el bus que los llevará a una gira por dos productoras de anuncios.

Parece que hoy los chicos tienen suerte y no hay congestión vehicular; llegaron a tiempo a la primera productora. Aquí los recibe Rolando Muñoz Umaña, el productor ejecutivo de *Emotions*.

Los estudiantes ingresan a una sala donde Rolando ha colocado parte del equipo que se utiliza para grabar. Sobre la mesa se observan varios lentes de cámara, unos micrófonos y una cámara; a un lado hay un gran juego de luces. Rolando les explica que antes de utilizar ese equipo, se realiza todo un trabajo previo que es la preproducción.

En esa etapa se decide si el comercial llevará música, tipos de sonidos, características de los modelos, vestuario, locación y el estilo de fotografía. Así, cuando llega el día ya todos sabrán dónde será la grabación, quiénes participarán, cómo estarán vestidos, si la cámara estará o no en movimiento, cómo se manejará la fotografía, qué tipo de luz se utilizará.

## ¡Listos para la filmación!

Ahora sí, es momento de grabar. Se retoma el guión. El asistente de dirección junto con el director deciden por cuál escena empezar.

- ¿No siguen el orden de las escenas? –pregunta Jimena con un poco de duda.

- Mira, el orden de la grabación de las escenas por lo general se cambia. En el comercial que grabamos de la selección, en la última escena los jugadores están entrenando en la mañana; se supone que hay un sol brillante.

Aquí decidimos grabar eso temprano, cuando teníamos un sol espléndido y el cielo estaba despejado. Si esperáramos y seguíamos el orden del guión, es posible que en la tarde ya no tuviéramos esa luz que necesitábamos, o que lloviera –le contesta Rolando.

En la etapa de producción todo ese equipo que está sobre la mesa se convierte en protagonista. Rolando explica a los jóvenes que en el momento de filmar se utiliza mucho equipo. Todo depende de lo que se necesite, pero lo que nunca puede faltar son las cámaras y las luces.

- ¿Qué tipo de cámaras se usan? ¿Son las mismas que para grabar una película de cine? –consulta Andrés, quien siempre ha estado intrigado por el mundo de la filmación.

- Hasta hace unos 15 o 20 años las cámaras que se empleaban eran las mismas que para el cine, pero ahora todo eso ha cambiado y se usan cámaras digitales –responde Rolando.

Los estudiantes aprenden que en el mercado existe una gran variedad de cámaras digitales para filmación; pero ¿cuál cámara emplear? Según se les explica, eso varía de acuerdo a la preferencia de la productora, decisiones de inversión y de las necesidades del comercial.

Rolando enfatiza que hay cámaras digitales HD (del inglés, *high definition* - alta definición); Full HD (*full high definition*); y Ultra HD (*ultra high definition*), lo que permite una mayor nitidez y claridad de la imagen.

- No me queda claro todo eso de *high definition*; ¿de qué se trata? –consulta Karina.

- En realidad, es muy sencillo –explica Rolando– pero antes debo explicarles qué es un pixel. Estoy seguro de que muchos han escuchado esa palabra. Un pixel es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital. Si ampliamos lo suficiente una imagen digital, los pixeles aparecen como pequeños cuadrados.



De acuerdo con la información brindada por Rolando, la imagen en un televisor se ve gracias a una gran cantidad de pixeles y líneas. Los pixeles corresponden a la cantidad de puntos cuadrados de imagen que hay en 25,4 mm dentro de la superficie de la imagen. Cuantos más elementos de este tipo hay, mayor será la resolución y más precisos serán los detalles de las imágenes.

- En el caso de *high definition* las medidas son  $1280 \times 720$  pixeles. Para *full high definition* tenemos  $1920 \times 1080$  pixeles y en *ultra high definition*,  $3840 \times 2160$ . Las imágenes que se ven en UHDTV tienen una calidad muy superior porque la cantidad de pixeles por cada 25,4 mm es mucho mayor –continúa Rolando.

Básicamente, al grabar se elige la cámara en función del tamaño del cuadro o bien de la velocidad a la que corre el cuadro por segundo. La velocidad de veinticuatro cuadros por segundo o FPS (del inglés, *frames per second*) permite que el cerebro perciba una sensación de movimiento natural. Las cámaras con una velocidad mayor, por ejemplo sesenta cuadros por segundo, se utilizan para destacar expresiones, como un primer plano del rostro del jugador cuando celebra un gol.

En algunos casos se requieren cámaras con una velocidad aún mayor. Eso ocurre cuando se deben grabar líquidos o el derrame de un producto. Estas cámaras ayudan a que la imagen se vea como en “cámara lenta” y con todos los detalles.

- El comercial que se grabó de la selección era para una empresa de bebidas; aquí fue necesario usar este tipo de cámaras para realizar un primer plano del momento en que el jugador abre la gaseosa y el líquido empieza a salir, a derramarse por la botella –explica el productor.

portero y la portería. Los asistentes de cámara son quienes indican a qué distancia del lente se encuentra cada uno de esos elementos que se grabarán. La pelota se ubica a medio metro de distancia de la cámara; y el portero, a 11,5 metros. Ambas medidas se marcan en el lente. Esto quiere decir que la pelota es el elemento principal que se enfocará, el que está más cerca. Si el director del comercial quiere un cambio de foco hacia atrás (primero ver el balón y luego al portero), él solo pide un cambio de foco y el camarógrafo sabe que debe variar el lente para ajustarlo a la medida de 11,5 metros.

El otro elemento fundamental en la grabación son las luces. En primer lugar porque sin luz no se pueden registrar imágenes y, en segundo lugar, porque cumplen un rol estético o expresivo. La iluminación puede tanto enfatizar detalles importantes como ocultarlos completamente. Rolando les menciona a los estudiantes que la luz más utilizada es la HMI (del inglés, *Hydrargyrum Medium arc-length Iodide*). Este tipo de luz es muy intensa y tiene una temperatura de color de 5500 K (kelvin), como la luz del sol al mediodía.

- Antes de seguir hablando de las luces, es necesario explicar el concepto de temperatura de color –afirma Rolando–. Este se basa en el hecho de que cuando un cuerpo se calienta, irradia luz de cierto color; ese color varía conforme la temperatura aumenta. También se puede explicar como la sensación que percibe el ojo humano ante una luz. Esa luz es cálida si predomina el color ámbar, o fría si predomina el azul.

El kelvin es la unidad de temperatura del color aceptada por el Sistema Internacional de Unidades. En esta escala, el cero se sitúa en el punto de temperatura mínima posible, en el que los átomos y las moléculas están en reposo o con



Junto a las cámaras están los lentes, los cuales sirven para enfocar. Las medidas que indica el lente se refieren a la distancia focal que es la distancia que existe entre el centro óptico y el punto focal (objeto que se desea enfocar).

Rolando les cuenta entonces cómo utilizaron los lentes en ese anuncio de los seleccionados: - Estábamos en la cancha y teníamos el balón sobre el césped; al fondo estaban el

mínima energía térmica posible. Este punto corresponde aproximadamente a  $-273^{\circ}\text{C}$ .

Rolando comenta que las luces HMI están hechas con halógenos metálicos y vapor de mercurio. Una ventaja es que no producen tanto calor (una consideración importante cuando se filma en espacios cerrados y pequeños), pero sí consumen gran cantidad de energía. Por lo general, cuando

se emplean es necesario utilizar una planta eléctrica. Las luces HMI sirven también para rellenar las sombras que causa el sol. Gracias a estas luces es posible grabar una escena en la noche y que parezca de día.

La siguiente opción en luces son las lámparas de tungsteno. La temperatura de color es 3200 K. Un gran inconveniente que presentan para la filmación es que generan más calor. La ventaja es que emiten luz 30 %, más blanca y brillante, con menos potencia (en watt), en comparación con las lámparas incandescentes normales. Estas lámparas no se deben emplear cuando las personas del comercial deben proyectar una imagen “fresca”.

- En el anuncio de la selección teníamos que mostrar una imagen muy fresca de los jugadores, entonces no pudimos utilizar estas luces, porque el calor que producen hace que los jugadores se vean cansados e incómodos –le dice Rolando a los jóvenes.

Existen dos posibilidades más de luces: las fluorescentes, las cuales son frías pero no son intensas (este tipo de luz se utiliza más para grabaciones en estudio), y las LED, luces frías, que consumen muy poca energía y son poco intensas.

## ¡Contrapesos!

- He visto que en ocasiones el camarógrafo lleva una cámara sujeta al cuerpo, ¿por qué es eso? –pregunta Andrés.

- Eso se llama *steadicam*. Sirve para estabilizar la cámara. Le permite al camarógrafo llevar la cámara en la mano. Nos ayuda mucho a disminuir los movimientos indeseados del camarógrafo, a estabilizar las imágenes. También es útil para imitar parte de la acción de las escenas como saltos, carreras o caídas. Sin embargo, no en todas las grabaciones de comerciales se requiere –menciona Rolando.

El *steadicam* es un sistema de suspensión y brazo recto con soporte para la cámara y sistema de contrapesos. Se puede complementar con un brazo de soporte junto a un chaleco. Esto contribuye a aumentar el tiempo de utilización en tomas largas, ya que el peso se traslada de los brazos del camarógrafo a sus caderas.

El brazo de soporte es totalmente articulado y se monta en rodamientos de alta precisión, por ello facilita los movimientos libres y ágiles. El brazo se puede bajar o elevar, rotar hacia adentro y afuera o de lado a lado. Estas acciones de rotación y traslación aíslan los movimientos del camarógrafo con los de la cámara y producen tomas muy suaves.

El equipo de filmación puede incluir también un brazo de grúa, el cual facilita la grabación de tomas panorámicas. Es posible filmar desde varios metros de altura y luego ir bajando la cámara hasta llegar al suelo, con un movimiento suave y controlado.

También está el *dolly*, un carrito con rieles y un pequeño brazo. Se emplea para realizar movimientos fluidos en un eje horizontal, lo que se conoce como travelling. El *dolly* ayuda a evitar vibraciones accidentales. Se utiliza en las tomas subjetivas, donde se hace un seguimiento de la acción, así como para acercamientos, donde no se desea comprometer el campo de visión (este se altera al variar la distancia focal del lente cuando se cambia la posición de los elementos).

## Efectos visuales

Una vez que el comercial se ha grabado, viene la etapa de posproducción. En esta fase se realizan dos funciones: editar (colocar una toma detrás de la otra) y agregar efectos visuales, en los casos que corresponda. Por ejemplo, se puede hacer que el estadio se vea lleno o poner a un personaje, como la mascota de la empresa de bebidas gaseosas.

En la posproducción se agrega el audio: la voz del locutor, la música y cualquier tipo de sonido que sea necesario.

Para aprender más sobre posproducción, los estudiantes deben continuar su gira en la siguiente productora, la cual se especializa en animación digital y efectos visuales.

Una productora de animación digital crea comerciales totalmente animados, gracias a imágenes generadas por computadora, y agrega o quita elementos al material que se grabó.

Veinte minutos después de haber dejado la primera productora, el grupo llega al segundo destino, donde los recibe Luis Quirós Zúñiga, quien se desempeña como productor en *Marte Studio*.

- Cuando tienen que agregar un personaje al comercial ¿cómo saben dónde ubicarlo? –le pregunta Carlos.

- Nosotros tenemos un guión. Eso nos permite saber en qué momento se coloca el personaje, los tipos de planos y cuáles son las acciones que debe realizar. Empezamos a trabajar mucho antes de recibir el material grabado; en ese tiempo nos corresponde diseñar y modelar el personaje. Luego se hacen pruebas de movimiento –explica Luis.

- ¿Y la parte de darle movimiento es fácil? –quiere saber Andrés.

Ante esto, Luis responde que “es un proceso de mucho cuidado. En la vida real cuando una cámara se mueve, las perspectivas y las distancias focales cambian. Cuando a ese material grabado le agregamos algo “falso” es necesario respetar esas perspectivas y distancias focales, de esta forma ese elemento animado se verá real e integrado”.

Según menciona Luis, esa integración se produce gracias a los datos que se le brindan a un software de animación,



en el cual se indican las coordenadas. El encargado de animación marca una serie de puntos de seguimiento (puntos de *tracking*). El *software* lee esos puntos y reconoce cuánta distancia hay entre cada punto, permitiendo ver cómo reaccionaría el personaje o elemento que se está integrando.

Si una de estas indicaciones es incorrecta puede hacer que el elemento se vea de un tamaño diferente, que parezca más lejos o cerca de lo que realmente interesa, que la iluminación no sea la correcta, etc.

Luis explica que en el comercial donde participaron los jugadores, se agregó una mascota (un dibujo animado), y en este caso todas esas mediciones fueron claves para que el personaje se viera del tamaño adecuado, se moviera e interactuara con los jugadores en la forma correcta, etc.

El productor asegura que todo este trabajo es muy complicado y casi completamente manual. Los comerciales que mezclan realidad con animación son más costosos y se llevan a cabo gracias a la matemática pura aplicada. En los programas utilizados se busca la ecuación para que todas esas coordenadas y elementos diseñados se puedan incorporar con la realidad.

- Siempre creí que el *software* hacía la mayor parte del trabajo, pero ahora veo que no es así y lleva mucho de matemáticas –comenta Jimena.

- En realidad, Jimena, el secreto de la animación en 3D es que mezcla muy bien la parte de la ingeniería con la creatividad. Se manejan muchas variables como la luz, textura y color. Nosotros debemos saber cuál es el resultado de

cada una de esas variables en cada una de las condiciones que se están creando –contesta Luis.

El productor explica que la realización de un comercial animado en 3D, de unos 30 segundos de duración, con pocos personajes y escenario sencillo, puede implicar 2 meses de trabajo y un equipo de 10 personas.

De esta forma termina la gira del grupo. Han aprendido un poco sobre algunos de los principales equipos que se usan en una filmación pero, sobre todo, han descubierto cómo áreas tan diversas como la física, la matemática, la ingeniería, la comunicación y la creatividad tienen que ir de la mano para generar un buen comercial, principalmente si es animado.

LILLIAM MORA (COSTA RICA)

Ilustración en página 56: Alberto Parra del Riego  
Foto en ilustración en página 56: Balón de fútbol © Vitaly Krivosheev - Fotolia.com



La producción de publicidad televisiva requiere un equipo profesional muy variado. Rolando Muñoz Umaña, publicista, tiene varios años trabajando en la producción de comerciales.  
Foto: Garrett Britton González

# ¡Goooll!!!

Goooll,

Goooll,

# ¡Goooll!!!

Eduardo Baldares es periodista y locutor deportivo. Para alcanzar el éxito como locutor debe prepararse continuamente, eso implica desde cuidar su voz hasta estudiar datos para cada uno de los encuentros que narra. Foto Garrett Britton González

El narrador deportivo, gracias a su voz, es un importante protagonista en la transmisión de un encuentro de fútbol. Pero ¿qué es la voz? ¿cómo se produce? ¿qué se necesita para producirla? Esas son preguntas que siempre se ha hecho Andrés, quien a sus 14 años quiere ser narrador deportivo. Veamos lo que él descubrió para su proyecto en el curso de Física.

## ¿Física y narración deportiva?

Cuando la profesora nos dijo que debíamos investigar un tema libre, me emocioné mucho y me fue muy fácil decidir sobre qué hablar. Siempre he querido saber más sobre la narración deportiva y la voz, así que investigué acerca de esos aspectos. Sé que la idea se oye un poco extraña para la materia de Física, pero no lo es. En la locución se aplican muchos de los conceptos que hemos aprendido en el curso.

Para hacer el trabajo, hablé con varios especialistas. El profesor de locución, Carlos Araya, me explicó que la locución es un área de las Ciencias de la Comunicación relacionada con la expresión oral. Para ser locutor es necesario estudiar, lo cual ayuda a tener una técnica, a usar la voz de una mejor forma y a no dañarla.

Carlos me ayudó a comprender mejor cómo se produce la voz. Él me explicó que la voz ocurre por la vibración de las cuerdas vocales cuando se acercan entre sí, producto del paso del aire a través de la laringe.

¿Verdad que suena simple? Sí, también pensé lo mismo, pero en realidad es un proceso más detallado. Para entenderlo mejor vamos a dividirlo en tres etapas.

La primera se inicia cuando desde los pulmones se genera una corriente de aire que sube por los bronquios y la tráquea. Aquí los protagonistas son el diafragma, la cavidad torácica, la musculatura abdominal y la espalda. El trabajo que estos órganos realizan es muy importante.

En la siguiente etapa, esa corriente de aire pasa por la laringe y por las cuerdas vocales. Para que se produzca el sonido, lo cual es la primera señal de la voz, las cuerdas deben estar cerradas para que el aire choque contra ellas y vibren. Cuando las cuerdas están abiertas el proceso que se produce es el de la respiración.

Finalmente, en la última etapa, ese sonido recorre la garganta, la nariz y la boca, siendo aquí que adquiere resonancia.

Al comprender cómo se produce la voz, también fui entendiendo la relación que tiene con la Física.



Recordemos que la voz es un sonido que para producirse requiere tres elementos: un cuerpo elástico que vibre, un medio elástico que propague las vibraciones y una caja de resonancia que amplifique las vibraciones. Aquí encontré la primera relación de la Física con la locución. ¡Es sorprendente! Jamás imaginé que la voz tuviera esos tres elementos.

El cuerpo elástico que vibra son las cuerdas vocales; el medio de propagación es el aire y la caja de resonancia es la formada por la caja torácica, la faringe, las cavidades orales y nasales.

De acuerdo con lo que investigué, para que un locutor pueda mantener una buena voz durante los 90 minutos que dura un partido de fútbol, es necesario que posea técnica. Significa que debe saber respirar, administrar el aire y dejarlo salir de forma adecuada, así como tener una buena dicción y vocabulario, entre otros aspectos.

El profe Carlos me explicó que gracias a la técnica, el locutor tendrá la capacidad de narrar 90 minutos de jugadas emocionantes y vibrantes con una misma calidad de voz. También le permitirá decir varias veces “Gooolll, goooolll” y los aficionados oiremos una voz clara, potente, sin cansancio, que nos hará sentir como si estuviéramos en el estadio, lo que es muy emocionante.

Pero un locutor deportivo también debe seguir algunas recomendaciones para cuidar su voz. Según me comentó Eduardo Baldares, el locutor deportivo que entrevisté, él no se expone a temperaturas muy frías (si lo debe hacer usa bufanda), no fuma ni consume alimentos muy fríos o muy calientes. Además, toma jengibre con miel de abeja y limón. Algo que me pareció curioso es que hace ejercicios de vocalización antes de transmitir el partido. Son algo así como un calentamiento de las cuerdas vocales para que no se lastimen, muy similares al que realizan los jugadores al prepararse para jugar.

Eduardo me dijo que si un locutor deportivo descuida su voz, rápidamente puede tener problemas. Por eso este instrumento tan poderoso que tiene el ser humano para producir sonido debe cuidarse. Con más razón si debe narrar varios partidos seguidos, como ocurre durante un Mundial.

## Cualidades del sonido

En clase de Física vimos que el sonido posee cuatro características: timbre, duración, intensidad y altura. Estos elementos nos permiten diferenciar un sonido de otro. Y adivinen qué. Durante mi investigación descubrí que la voz también tiene esas cualidades, solo que algunos nombres son diferentes.

El profesor de locución me ayudó a entender mejor cómo influyen esas características en la narración deportiva.

No sé ustedes, pero yo tengo un locutor de fútbol favorito; puedo reconocer su voz en cualquier lado, porque para mí la voz de él es muy diferente a la de otros. Eso se llama timbre y es lo que nos permite identificar dos fuentes sonoras diferentes. Es la caja de resonancia la que amplifica el sonido y le otorga el timbre.

Como todas las personas tenemos una caja de resonancia diferente, eso hace que los timbres varíen. Saben, me sorprendió mucho saber que el tamaño y la forma de las cuerdas vocales, de la garganta, la nariz y la boca determinan el timbre de cada individuo.

La segunda cualidad del sonido es la duración. La duración se relaciona con el tiempo que permanece la vibración desde que el sonido aparece hasta que finaliza. Esta característica facilita diferenciar entre un sonido corto y uno largo.

La duración es muy fácil de comprender en una narración deportiva. Si Eduardo está narrando un partido de nuestra selección y el otro equipo hace una anotación, seguro que él dirá: “Gol”, en forma breve y con poca emoción. Pero si nuestra selección es la que anota, en ese caso el sonido será muy largo, algo así como: “¡¡Gooooo!!!”. Seguramente, todos recordamos la narración de los goles de nuestra selección y su duración.

La tercera característica es la intensidad, que refiere a la mayor o menor amplitud de una vibración. La intensidad del estímulo auditivo se mide en decibeles (dB). Esta unidad expresa el nivel de potencia y de intensidad del sonido. Para que sea adecuado para el ser humano debe estar entre los 15 y los 30 decibeles.

En la locución, la intensidad es el volumen. En una narración el locutor utiliza diversos volúmenes. Él debe saber cuándo aplicar el volumen adecuado y administrar bien el aire, de lo contrario, cuando llegue un momento de tensión o emoción no podrá subir el volumen. ¿Se imaginan llegar a los penales y que Eduardo ya no tenga fuerza en la voz? ¡Eso sería terrible! sobre todo con lo emocionante que son los penales.

La última característica del sonido es la altura, que en el caso de la voz se le conoce como tono. Ayuda a distinguir entre un sonido grave y otro agudo. Cuando las cuerdas vocales se tensan se producen los sonidos agudos y cuando se relajan se dan los sonidos graves. Para que esto quede bien claro, se puede decir que cuando escuchamos una voz ronca y profunda corresponde a un tono grave, mientras que cuanto más chillona suene la voz es más aguda.

El tono permite clasificar el sonido en una escala de frecuencia tonal. Un sonido grave corresponde a frecuencias bajas, mientras que los agudos a frecuencias más altas. Para medir la frecuencia se utiliza la unidad de medida llamada hertz (Hz), que nos permite saber cuántas veces se repite una onda por segundo. Un hertz equivale a una onda por segundo. Una persona con un oído sano es sensible a las frecuencias comprendidas entre los 20 Hz y los 20 kHz.

Los sonidos graves se encuentran entre los 20 Hz (mínima frecuencia que el oído humano puede percibir) y aproximadamente los 320 Hz. Los sonidos agudos están comprendidos entre los 2560 Hz y los 20 000 Hz. Pero también existen los sonidos medios, que se ubican en la frecuencia entre los 320 Hz y los 2560 Hz aproximadamente.

Un narrador deportivo realiza muchos cambios de tono. Cuando Eduardo narra una jugada rápida y se siente su emoción, está empleando determinado tono; cuando comenta algún aspecto general del encuentro, como la alineación de los equipos, utiliza otro.

Para producir un tono agudo se necesita una muy buena cantidad de aire, así como gran cantidad de vibración y para ello el aire debe estar pasando muy rápido. Por el contrario, el tono grave es una vibración de baja velocidad y no se requiere tanto aire. Al entender esto comprendí porqué para un locutor la técnica y la correcta administración del aire son aspectos tan importantes.

## Aliados de la narración

Después de conocer todo esto sobre la voz y el sonido, me surgió una duda: ¿por qué las transmisiones de partidos se escuchan siempre tan nítidas? Para comprender esto entrevisté a José Matías Reyes, coordinador de audio insti-

tucional en la Universidad de Costa Rica y coordinador de Conformidad Tecnológica de la Confederación de Fútbol de Norte, Centroamérica y el Caribe (CONCACAF, por sus siglas en inglés) y FIFA.

Él me explicó que las televisoras y emisoras deben utilizar micrófonos, transmisores y mezcladoras de sonido de excelente calidad. Un buen equipo garantiza una mejor calidad del sonido para que escuchemos con mayor claridad la voz del narrador y sin ruidos.

Las mezcladoras de sonido digital tienen incorporado un procesador de sonido. Don José me comentó que este procesador ayuda a mejorar la gama de decibeles y hertz que se van a transmitir. Eso quiere decir que ese equipo corrige la calidad del sonido, por eso siempre escucho la voz de Eduardo igual y con una excelente calidad.

Con este proyecto he comprendido que el ser humano tiene un instrumento perfecto para crear sonido: la voz. Un locutor deportivo debe conocer muy bien cuáles son las características del sonido así como la forma en que este se produce para utilizar mejor su voz y que todos disfrutemos al máximo un partido de fútbol.

Después de realizar este trabajo me sorprendió mucho la relación que existe entre ambas disciplinas. Estoy seguro que quiero ser locutor y que seguiré estudiando más sobre física y otras ciencias que me ayuden a comprender mejor situaciones de la vida cotidiana.



Las ondas agudas tienen mayor cantidad de frecuencia.  
Imagen: Mauro Manfredini, [http://es.123rf.com/profile\\_manfredinim](http://es.123rf.com/profile_manfredinim) / 123RF Foto de archivo





Aquí se puede observar variedad de ondas, corresponden tanto a sonidos graves como agudos.  
 Imagen: Richard Laschon, [http://es.123rf.com/profile\\_lirch](http://es.123rf.com/profile_lirch) / 123RF Foto de archivo</a>

## Voz y parlantes

La voz también tiene similitud con la función que realizan los parlantes. Estos transforman la energía eléctrica en acústica. Lo hacen a través de la membrana, mediante un movimiento acorde al sonido a reproducir y a la corriente que le suministran.

Todos hemos visto que existen parlantes de diferente tamaño. Los parlantes de mayor tamaño son para los sonidos graves y se les conoce como *woofers*. Ellos pueden mover una mayor cantidad de aire, es decir logran más presión sonora y reproducen frecuencias de 300 a 800 Hz.

En el caso de los parlantes medios, también llamados *squawker*, tienen la capacidad de reproducir sonidos medios, en frecuencias entre los 300 Hz y 5000 Hz.

El otro tipo de parlante son los *tweeter*, se emplean para los sonidos agudos. Estos altavoces son capaces de reproducir altas frecuencias desde 3 kHz hasta 20 kHz .

De acuerdo con el Dr. Harold Sánchez Vargas, del Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas, del Instituto Costarricense de Electricidad, es importante tomar en cuenta que los parlantes pueden reproducir frecuencias que se traslapan, es decir que un parlante

diseñado para los sonidos graves también puede registrar otros sonidos; esto es necesario para que no haya zonas con mala reproducción.

El Dr. Sánchez Vargas explica que en un parlante se pueden tener sonidos más fuertes o débiles a la misma frecuencia, y sonidos más agudos o graves con el mismo volumen, es decir que la frecuencia y la amplitud son independientes. Según el experto, lo mismo ocurre con la voz: se puede cambiar el tono y el volumen o intensidad.

El experto menciona que si bajamos o subimos el volumen de los parlantes lo que estamos afectando es la amplitud. Esta se puede medir de dos formas, si es en corriente eléctrica se utiliza el ampère (A), pero si es en tensión eléctrica se emplea el volt (V).

Es importante tomar en cuenta que si utilizamos un parlante que no es el adecuado para la frecuencia que se desea transmitir, el altavoz puede dañarse o no reproducir apropiadamente el sonido deseado aunque gaste energía. Del mismo modo, una persona que emplea con mucha frecuencia un tono de voz que no es el suyo, puede llegar a deteriorar sus cuerdas vocales.

LILLIAM MORA (COSTA RICA)



# Sonidos y decibeles

Aunque no se le suele prestar atención, el oído -uno de los 5 sentidos- padece frecuentes agresiones. Por ejemplo, durante las reuniones deportivas como el reciente Mundial de Brasil, o en conciertos masivos, el continuo volumen del ruido generado por los asistentes contribuyó a causar daños a la salud auditiva de cada fan allí presente.

Los fanáticos seguidores del reciente mundial de fútbol de Brasil sólo pudieron enterarse de las principales decisiones tomadas por los árbitros de la cancha gracias a la mímica. Es que el tradicional elemento para imponer orden en un partido –los agudos pitidos del silbato del referí– quedaron mayormente ahogados por los gritos constantes de 50 000 hinchas que, desde las tribunas, hicieron tronar sus gargantas, golpearon palmas y generaron un coro de ruidos y gritos de una enorme potencia sonora. Además de alegrías y tristezas para ganadores y perdedores, el reciente torneo también sumó un triste aporte a la salud de todos los concurrentes a los estadios: el intenso ruido que acompañó los 90 minutos de cada encuentro sumó otro granito de arena al deterioro de un sentido cada vez más golpeado: el oído.

## El sonido

“El sonido es una sensación audible, originada por las fluctuaciones alternadas de la presión en el aire, que son causadas por la propagación de una onda sonora”, explicó la ingeniera Lucía Taibo, Coordinadora de la Unidad Técnica Acústica, del Centro de Física y Metrología en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina. “Esas ondas penetran el pabellón del oído haciendo vibrar la membrana del tímpano. Luego se amplifican en el oído medio y se transmiten hacia el oído interno, donde excitan las terminales del nervio acústico. Este transporta dichas señales hasta al cerebro, donde son procesadas para, finalmente, generar esa sensación sonora”.

La física clasifica a las ondas de sonido como un tipo de ondas mecánicas y, por eso mismo, requieren de un medio material para poder propagarse. En eso se diferencian de las ondas electromagnéticas que, como la luz, pueden “transmitirse” a través del vacío.

Algo interesante que caracteriza a las ondas mecánicas es que varían su velocidad de transmisión de acuerdo al medio en el que se mueven. Por ejemplo en el aire, el sonido se desplaza a 343 metros por segundo (con el aire seco, a 20 °C y a nivel del mar).

En cambio en el agua la velocidad del sonido se acelera hasta recorrer 1200 metros por segundo. Y en los sólidos es todavía más veloz: a lo largo de un metal se propaga a casi 5000 metros por segundo.

Sin embargo, las ondas sonoras no son tan rápidas como las electromagnéticas que se mueven a casi 300 000 km por segundo en el vacío. Esa diferencia de velocidades explica por qué, desde una tribuna, el espectador primero “ve” la pelota pateada por el delantero golpeando contra el travesaño, pero el sonido de dicho impacto recién llega a sus oídos un instante más tarde. Algo similar ocurre con el rayo: primero se ve la luz y luego nos llega el sonido del trueno.

Los textos de física detallan que el sonido es una variación de presión en el aire, agua u otro medio, que puede ser detectada por el oído. Y a la cantidad de variaciones de presión por segundo la denominan “frecuencia”, cuya unidad de medida es el hertz (Hz).



Es justamente la frecuencia de un sonido la responsable de su timbre distintivo: cuando escuchamos sonidos “graves” estamos percibiendo las frecuencias más bajas mientras que las frecuencias más altas se corresponden con sonidos “agudos”.

Por otra parte, el sistema auditivo de cada ser vivo es diferente. En las personas, el rango de frecuencias audibles está comprendido entre los 20 Hz y 20 000 Hz, mientras que los perros y los murciélagos perciben frecuencias mucho más altas.

También diversas ciencias recurren con frecuencia a los ultrasonidos para realizar diversas tareas. Por ejemplo, en medicina sirven para estudiar en detalle los órganos y los tejidos.

Para poder medir la presión sonora y la energía asociada a los sonidos, y poder establecer relaciones útiles y comparaciones válidas, los científicos usan al decibel (dB). Este ofrece una escala de magnitudes relativas que facilita medir los niveles de presión sonora. Básicamente, es importante recordar que a mayor cantidad de decibeles, hay más presión sonora y energía presente.

## Te escucho

El oído humano es capaz de percibir sonidos correspondientes a niveles de presión sonora superiores a 0 dB. Según el DHHS (del inglés, Department of Health and Human Services) de los EE.UU, cuando un sonido se ubica entre los 120 y los 140 dB, las personas se exponen a lo que los expertos denominan “umbral del dolor”. Es decir que por encima de dichos valores, el sonido se vuelve tan intenso que comienza a provocarnos sufrimiento. Incluso, si lo supera en mucho, puede causar daños físicos permanentes, como la rotura del tímpano.

En la ciencia de la acústica se suele definir al ruido como los sonidos no deseados. Según Taibo, “denominamos ruidos a los sonidos complejos que no son ni la música, ni la voz humana, ni las voces de los animales (por ejemplo: el canto en los pájaros), aunque es cierto que en determinadas circunstancias estos sonidos también podrían considerarse ruidos”.

En nuestra sociedad muchas veces se vuelve imprescindible relacionar la intensidad del ruido con sus efectos sobre la salud de las personas y para considerar ese parámetro es clave tener en cuenta la duración de la exposición a la fuente del ruido. A mayor tiempo de exposición, más daño al aparato auditivo.

## Problema global

Según los datos más recientes recopilados por los epidemiólogos de la Organización Mundial de la Salud,

en el mundo hay aproximadamente unos 360 millones de personas que padecen una pérdida calificada como discapacitante.

Esto significa que más del 5 % de la población global sufre este problema de salud, que se divide en unos 328 millones de adultos y 32 millones de niños. Y si bien hay muchos motivos que provocan esta situación –diversas enfermedades, accidentes- uno de los grandes causantes, según los expertos, es la exposición continua a un nivel de ruido excesivo, como el que se produce en los estadios deportivos o en una intersección muy transitada.

¿Cuándo se considera que una persona sufre una pérdida en su audición? Cuando no es capaz de oír tan bien como otra cuyo sentido del oído es normal. Y este valor “umbral” de audición –si bien depende de la frecuencia de cada sonido- se lo considera, en promedio, un sonido de unos 20 dB.

Ante estos casos, los médicos especializados, los otorrinolaringólogos, clasifican a las pérdidas de audición en “leve”, “moderada”, “grave” o “profunda” y detallan que pueden afectar a uno, o a ambos oídos.

“Para proteger la salud auditiva de las personas, especialmente en el ámbito laboral, la mayor parte de los países legisla y establece la máxima intensidad del ruido a la que puede ser sometido un trabajador a lo largo de su jornada laboral”, destacó la experta del INTI.

Así, existen trabajos que requieren de equipamiento especializado para prevenir estos problemas. Por ejemplo, los guías de aeropuertos quienes usan protectores especiales sobre sus orejas para evitar la exposición directa al ruido excesivo de las turbinas de los aviones.

Esos niveles máximos tienden a reducirse con el paso de los años, de manera de proteger



mejor la salud auditiva de las personas. Por ejemplo, en Argentina, hasta 2003 la legislación establecía que la máxima intensidad de sonido permitido, para una exposición de 8 horas diarias, era de 90 dB. Pero en la última década ese límite se redujo y actualmente se ubica en 85 dB, cifra que ha sido fijada como máximo en muchos países del mundo.

“Esos cambios ayudan a preservar a las personas y disminuir el riesgo de que soporten un daño auditivo temporal o permanente, aunque no lo elimina del todo. De hecho, sabemos que siempre hay riesgos, y eso ya depende de la fisiología de cada individuo. Por eso, cuanto más bajo sea el límite, es mejor para la buena salud auditiva”, resume la experta.

## Una antigua discusión

El problema del elevado nivel sonoro de los estadios, se discutió por primera vez durante el Mundial 2010, realizado en Sudáfrica. En esa oportunidad, las autoridades de la FIFA, la entidad organizadora, consideraron la idea de prohibir el uso de las vuvuzelas, esas cornetas de largo alcance, capaces de emitir un sonido tan fuerte que se volvía peligroso para la salud auditiva.

La discusión inicial la plantearon tres profesores de la Facultad de Medicina de la Universidad de Pretoria que publicaran un artículo científico, en la revista especializada *South African Medical Journal*.

Los expertos midieron el sonido de la vuvuzela y comprobaron que podía emitir ruidos de hasta 131 decibeles (dB). Como ese nivel es altísimo, el paper finalizaba recomendando que “ninguna persona en un radio de dos metros de la vuvuzela debería estar expuesta a semejante ruido en forma continua por un tiempo mayor a 60 segundos, sin utilizar algún tapón u otro elemento de protección auditiva”.

Esos datos fueron finalmente tomados en cuenta y la FIFA reglamentó en 2014 la prohibición de ingresar a los estadios con instrumentos musicales de todo tipo, “incluyendo vuvuzelas”.

## Música y oídos

Otra de las amenazas al sentido del oído proviene de nuestro gusto por seguir el relato de un partido de fútbol en cualquier momento o lugar. Hace ya años se sabe que las radios y reproductores de MP3 portátiles con auriculares, son capaces de emitir sonidos a una alta potencia.

En un estudio realizado por profesionales del INTI hace ya dos décadas, se midieron las preferencias y gustos de una veintena de jóvenes de entre 15 y 21 años que usaban

regularmente dispositivos portátiles para escuchar música. Lo que comprobaron es que sus usuarios los regulaban para escucharlos a niveles de entre 89 y 92 dB, muy por encima del máximo que se considera seguro en el ámbito laboral, especialmente si la escucha se prolonga a lo largo del tiempo.

Esto pasa porque –en materia de deterioro auditivo– una de las claves es la energía sonora, que tiene que ver tanto con la amplitud de la onda como con el tiempo en que está presente: a mayor intensidad y mayor tiempo de exposición, mayores daños causará a la buena salud de los oídos.

Por otra parte, la otorrinolaringóloga Vanesa Etcheverry afirma que “los reproductores MP3 y las radios portátiles, que tan frecuentemente usan los adolescentes, pueden tener una potencia de descarga que llega hasta los 130 dB. Y debemos recordar que la Organización Mundial de la Salud recomienda no superar los 60 dB, que es el nivel de sonido que se alcanza en una conversación con un nivel de ruido ambiente normal”.

Como ejemplo concreto de lo que puede pasar a lo largo del tiempo, una estimación hecha por autoridades de salud de la República Argentina reveló que uno de cada cinco individuos que escuchan música por más de 3 horas diarias a 95 decibeles, terminará padeciendo hipoacusia al cabo de 20 años, sobre todo si utiliza auriculares del tipo de los que se insertan en los oídos. Por suerte, algunas empresas están comenzando a comercializar audífonos que –automáticamente– limitan su potencia sonora a un nivel específico.

Además, los expertos aseguran que el oído de los adolescentes está especialmente amenazado y no solo por uso diario de MP3 y los celulares inteligentes. La razón es que a la escucha musical se le suma la concurrencia a boliches, fiestas o recitales, donde los decibeles que alcanza la música, más los ruidos callejeros en las grandes urbanizaciones, superan ampliamente los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Combatir el ruido excesivo y la contaminación sonora es un objetivo importante. La razón es simple: nos afecta profundamente. Según la Asociación Argentina de Otorrinolaringología y Fonoaudiología Pediátrica, “el exceso de ruido interfiere en la comunicación, el proceso de aprendizaje, la concentración y también con el buen descanso”. Y también afirma que “la llamada contaminación auditiva puede producir acúfenos, ansiedad, taquicardia, aumento del colesterol... constituye un factor de riesgo de accidentes, ocasiona un bajo rendimiento intelectual y provoca estrés”.

Aunque no sea todavía una preocupación extendida, es un tema que debería sonar cada vez más fuerte.

ENRIQUE GARABETYAN (ARGENTINA)

Foto página 64: Hinchas en tribuna © Photocreo Bednarek - Fotolia.com  
Foto página 65: Hombre con oreja gigante © Rasulov - Fotolia.com





Un sonómetro es el instrumento utilizado para medir el nivel de presión sonora y controlar los parámetros de contaminación. Para asegurar que sus mediciones sean precisas se debe calibrar anualmente. Foto: cedida por el LATU.

## ¿Cómo se mide?

La medición correcta de los parámetros que caracterizan a un sonido es un tema central para cuantificar la magnitud de los problemas de ruido. Y por eso, la medición del nivel sonoro constituye una parte indispensable de todo programa de protección ambiental y de salud.

Para esta tarea los expertos recurren a un equipamiento especial denominado medidor de nivel sonoro (MNS), más conocido como decibelímetro o sonómetro.

Estos dispositivos poseen un micrófono que convierte las variaciones de presión dinámicas en el aire (presión sonora incidente) en tensiones eléctricas que son luego amplificadas y ponderadas por el aparato y mostradas en un display en decibeles (dB), que le sirve al técnico para evaluar los efectos del ruido sobre las personas.

ENRIQUE GARABETIAN (ARGENTINA)

# Créditos

## Editorial:

Laboratorio Tecnológico del Uruguay - LATU

## Director de la revista:

Alexis Valqui (PTB)

## Comité Editorial:

María Celeste Cameron, INTN - Paraguay; Juan Carlos Castillo, IBMETRO - Bolivia; José Dajes, INDECOPI - Perú; Gelson M. da Rocha, INMETRO - Brasil; Gabriela de la Guardia, CENAMEP - Panamá; Silvana Demicheli, LATU - Uruguay; Francisco García, CESMEC - Chile; Oscar Harasic, OEA - EE UU; Ileana Hidalgo, LACOMET - Costa Rica; Héctor Laiz, INTI - Argentina; Ruben Lazos, CENAM - México; Claribel López, PROCALIDAD - República Dominicana; Luis Mussio, OIML; Alberto Parra del Riego, PTB - Alemania; Carlos Eduardo Porras, INM - Colombia; Marcela Prendas, LACOMET - Costa Rica; Claudia Santo, LATU - Uruguay; Silvio F. Santos, INMETRO - Brasil; Alexis Valqui, PTB - Alemania

## Comité Ejecutivo:

Silvana Demicheli (LATU); Alberto Parra del Riego (PTB); Alexis Valqui (PTB)

## Secretaría Técnica:

Silvana Demicheli (LATU)

## Apoyo logístico:

Diana Kleinschmidt (PTB)  
Valentina Guarinoni (LATU)

## Redacción:

Centro de Desarrollo del Conocimiento - CDC (LATU)  
Avenida Italia 6201 Edificio Los Talas - CDC, Montevideo. CP 11500 Uruguay.  
capacita@latu.org.uy (00598) 2601 3724 # 1325 y 1326

## Revisores:

María Celeste Cameron, INTN - Paraguay; Juan Carlos Castillo, IBMETRO - Bolivia; José Dajes, INDECOPI - Perú; Gelson M. da Rocha, INMETRO - Brasil; Gabriela de la Guardia, CENAMEP - Panamá; Silvana Demicheli, LATU - Uruguay; Francisco García, CESMEC - Chile; Oscar Harasic, OEA - EE UU; Ileana Hidalgo, LACOMET - Costa Rica; Héctor Laiz, INTI - Argentina; Ruben Lazos, CENAM - México; Claribel López, PROCALIDAD - República Dominicana; Luis Mussio, OIML; Luis Fernando Oviedo Herrera, INM - Colombia; Alberto Parra del Riego, PTB - Alemania; Ramiro Pérez, LATU - Uruguay; Carlos Eduardo Porras, INM - Colombia; Marcela Prendas, LACOMET - Costa Rica; Claudia Santo, LATU - Uruguay; Alexis Valqui, PTB - Alemania

## Revisores externos invitados:

Miriam Perálvarez Aguilar - España; Mauricio di Segni; Andrés Costa (Tecnatura Audiovisual - CETP); Rafael Sotelo (Dirección Nacional de Telecomunicaciones - MIEM) - Uruguay

## Autores y colaboradores técnicos por artículo:

- **El menú del futbolista.** Autora: Daniela Hirschfeld. Colaboración técnica: Claudia Santo (LATU); Mónica Rosa (Mutual de Futbolistas Profesionales de Uruguay); Milton Mazza (Facultad de Medicina de la Universidad de la República) - Uruguay
- **El cerebro: gran protagonista del fútbol.** Autora: Grettel Rivera Alvarado. Colaboración técnica: Gabriel Molina Castro (LACOMET); Johanna Sibaja Molina, Erick Mora Ramírez (Centro de Investigación en Neurociencias y Escuela de Tecnologías de la Salud de la Universidad de Costa Rica) - Costa Rica
- **Ganar, ¿a toda costa?** Autor: Jasson Clarke. Colaboración técnica: Marcela Prendas Peña (LACOMET); Cristian Moraga (Comisión Nacional Antidopaje); Carlos Palavicini - Costa Rica
- **Midiendo campos.** Autora: Martha Guimarães. Colaboración técnica: Gelson M. da Rocha (INMETRO) - Brasil
- **Paramédicos y equipos: dúo que salva vidas.** Autor: José Luis Barragán. Colaboración técnica: Carlos Eduardo Porras y Álvaro Bermúdez (INM); John Jiménez (FUSDESA); Mauricio Serrato (COLDEPORTES) - Colombia
- **De prisa y sin pausa.** Autora: Canela De Olazábal. Colaboración técnica: Henry Díaz, Aldo Quiroga, Edwin Guillén, Galia Ticona (INDECOPI); Iván Peña; Carlos Garrido, Bruno García (selección peruana de futsal) - Perú
- **De goles y otros impactos.** Autora: Canela De Olazábal. Colaboración técnica: José Dajes, Steve Acco (INDECOPI); Manuel Flores; Fernando Roca Alcázar; Luis Espinosa - Perú
- **Esferas mágicas en el estadio.** Autora: Claudia Mazzeo. Colaboración técnica: Gustavo Maceira (INTI); José Warren (ADIDAS);
- **Un uniforme para ganar.** Autor: Jasson Clarke. Colaboración técnica: Gabriel Molina Castro (LACOMET) - Costa Rica
- **Cuando Tesla diagnostica.** Autora: Julieta Espinosa. Colaboración técnica: Ruben Lazos (CENAM); Héctor M. Barragán Campos, Juan José Ortiz Retana (Universidad Nacional Autónoma de México); Óscar Edson Campuzano Ruíz, Luis Ernesto Betolaza Domequi (Club Gallos Blancos de Querétaro) - México
- **Fuerzas físicas, tecnología y azar en juego.** Autor: Carlos Vera. Colaboración técnica: Claudia Santo (LATU) - Uruguay
- **La luz: protagonista de los estadios deportivos.** Autora: Claudia Mazzeo. Colaboración técnica: Mario Bonnano y Eduardo Yasan (INTI) - Argentina
- **Luces... cámaras... ¡fútbol!** Autora: Lilliam Mora Vindas. Colaboración técnica: Luis Damian Rodríguez Araya (LACOMET); José Fonseca; Laura Montero, Rolando Muñoz Umaña - Costa Rica
- **¡¡Goooll!!!** Autora: Lilliam Mora Vindas. Colaboración técnica: Luis Damian Rodríguez Araya (LACOMET); Harold Sánchez Vargas (Instituto Costarricense de Electricidad); Carlos Araya; Eduardo Baldares; José Matías Reyes (Universidad de Costa Rica) - Costa Rica
- **Sonidos y decibeles.** Autor: Enrique Garabetyan. Colaboración técnica: Lucía Taibo (INTI); Vanessa Etcheverry - Argentina

## Diseño y diagramación:

Alberto Parra del Riego

## Página web:

www.revistadeacuerdo.org

## Imprenta:

Contacto Gráfico Ltda. (Colombia)

## Copyright:

LATU - Revista ¡De Acuerdo! Derechos reservados.  
ISSN 2301-0932 - ISSN 2301-1718 (En línea)

## Fecha de Edición:

Octubre 2014

## Fotos en Portada:

Tubo de escape © Walter Hupui  
Cronómetro y laboratorio © Walter Hupui  
Espectrometría de masa © Silvana Demicheli  
Pastillas y píldoras © fotoknips - Fotolia.com  
Ondas sonoras © Mauro Manfredini, [http://es.123rf.com/profile\\_manfredini](http://es.123rf.com/profile_manfredini) / 123RF Foto de archivo</a>  
Estrategia de juego © Coloures-pic - Fotolia.com  
Técnico con sonómetro. Foto cedida por LATU  
Medición de torso © Daniela Hirschfeld





Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin

## Sistema Interamericano de Metrología - SIM

El Sistema Interamericano de Metrología - SIM, es un amplio acuerdo entre organizaciones nacionales de metrología de 34 naciones miembro de la Organización de los Estados Americanos (OEA).

Creado para promover la cooperación internacional en metrología, en particular la interamericana y regional, el SIM está comprometido con la ejecución de un Sistema Global de las mediciones en las Américas, para que todos los usuarios puedan tener confianza.

Los tres grandes objetivos estratégicos del SIM son:

- Desarrollar los Institutos Nacionales de Metrología de la región SIM
- Fortalecer al SIM como Organización Regional de Metrología
- Cumplir con las obligaciones como Organización Regional de Metrología bajo el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas

## Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB

El PTB es el Instituto Nacional de Metrología de Alemania y asume su responsabilidad frente a la sociedad, la economía y la ciencia. Como una economía y un mundo globalizado requieren de una metrología globalizada, el PTB actúa también como un *global player*.

Las tareas internacionales del PTB abarcan la cooperación con las organizaciones de metrología a nivel internacional (siendo la Convención del Metro el ejemplo más prominente), a nivel regional (siendo el SIM la organización correspondiente para las Américas) y a nivel nacional (siendo los Institutos Nacionales de Metrología los socios principales en cada país). Asimismo la Cooperación Técnica Internacional del PTB asesora y apoya la conceptualización, el diseño y la implementación práctica de la Infraestructura de la Calidad en países en vías de desarrollo.

Los proyectos de la Cooperación Técnica Internacional del PTB son realizados ante todo por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania.

Esta edición de la revista *¡De acuerdo!* ha sido realizada gracias a la participación y colaboración de los siguientes Institutos Nacionales de Metrología:



Centro Nacional de Metrología  
(México)  
[www.cenam.mx](http://www.cenam.mx)



Centro Nacional de Metrología de Panamá  
(Panamá)  
[www.cenamep.org.pa](http://www.cenamep.org.pa)



Instituto Boliviano de Metrología  
(Bolivia)  
[www.ibmetro.gob.bo](http://www.ibmetro.gob.bo)



Servicio Nacional de Metrología  
(Perú)  
[www.indecopi.gob.pe](http://www.indecopi.gob.pe)



Instituto Dominicano para la Calidad  
(República Dominicana)  
[www.indocal.gob.do](http://www.indocal.gob.do)



Instituto Nacional de Metrología de Colombia  
(Colombia)  
[www.inm.gov.co](http://www.inm.gov.co)



Instituto Nacional de Metrología, Qualidade e Tecnologia  
(Brasil)  
[www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br)



Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
(Argentina)  
[www.inti.gov.ar](http://www.inti.gov.ar)



Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología  
(Paraguay)  
[www.intn.gov.py](http://www.intn.gov.py)



Laboratorio Costarricense de Metrología  
(Costa Rica)  
[www.lacomet.go.cr](http://www.lacomet.go.cr)



Laboratorio Tecnológico del Uruguay  
(Uruguay)  
[www.latu.org.uy](http://www.latu.org.uy)



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
(Alemania)  
[www.ptb.de](http://www.ptb.de)



Red Nacional de Metrología  
(Chile)  
[www.metrologia.cl](http://www.metrologia.cl)

Esta edición de la revista *¡De acuerdo!* ha sido realizada gracias a la financiación de:

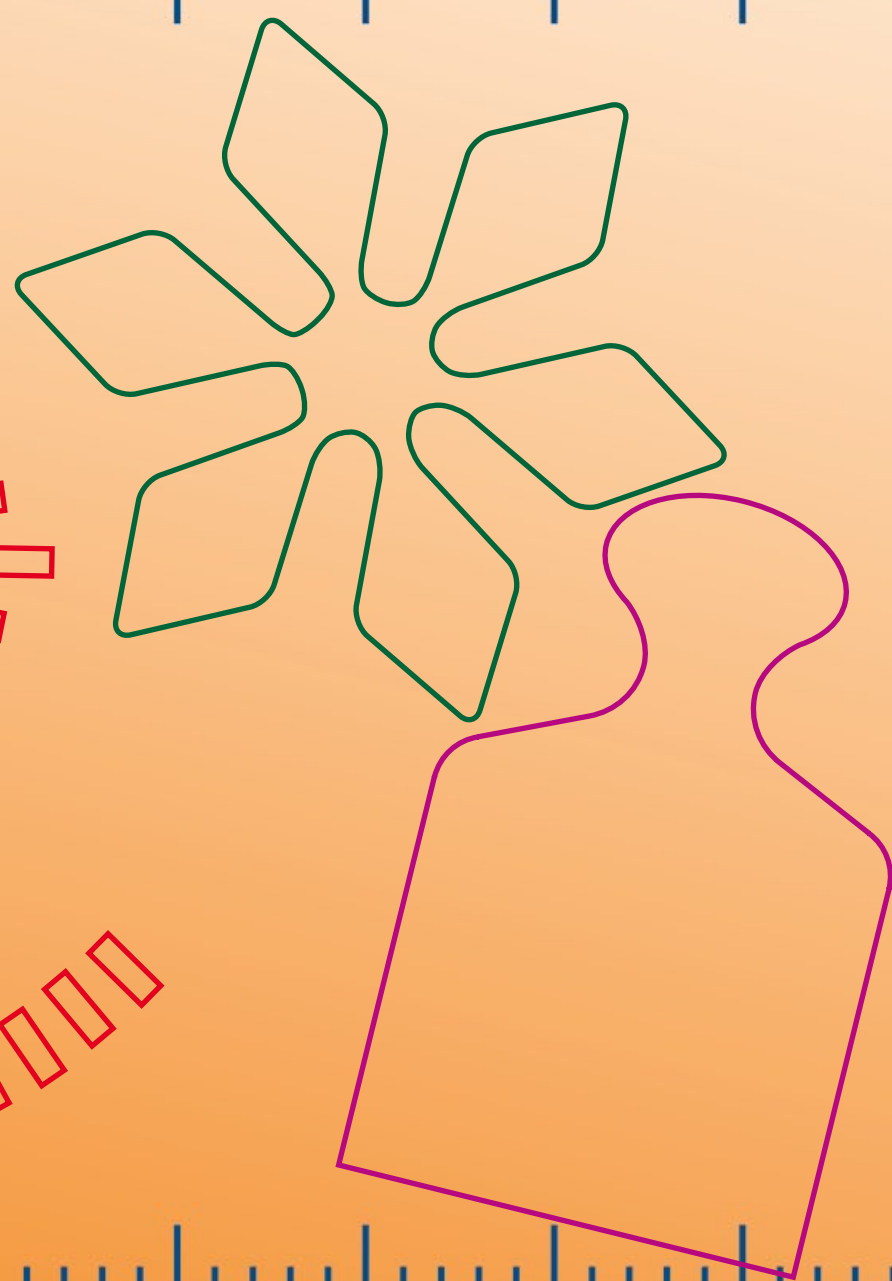


Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo  
(Alemania)  
[www.bmz.de](http://www.bmz.de)

Esta edición de la revista *¡De acuerdo!* ha sido realizada gracias a la cooperación de:



Sistema Interamericano de Metrología  
[www.sim-metrologia.org.br](http://www.sim-metrologia.org.br)



ISSN 2301-0932 - ISSN 2301-1718 (En línea)