

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



DEL POLÍMERO AL ORO: LA QUÍMICA DE LOS MATERIALES QUE HACEN POSIBLE EL FÚTBOL

M. Belén Yélamos López

Dpto. Bioquímica y Biología Molecular

El 11 de junio de 2026, cuando el árbitro hizo sonar el silbato en el primer partido del [Mundial de Fútbol de 2026](#), millones de personas dirigieron inmediatamente la mirada hacia los jugadores. Pero no pensaron que, sin la química moderna, casi ninguno de los objetos que aparecían sobre el césped sería posible. El balón, las botas, las camisetas, los guantes del portero, el propio terreno de juego e incluso el trofeo que levantará el campeón son el resultado del desarrollo de la química de materiales.

Aunque, a simple vista, un partido parece una sucesión de carreras, pases y disparos, y algunas faltas también, cuando se observa desde el punto de vista de la química de materiales, lo que podemos ver también es un verdadero laboratorio en movimiento. Polímeros que se deforman y recuperan su forma, fibras que transportan el sudor, espumas que absorben impactos y metales que resisten la corrosión intervienen en cada jugada. La química no marca goles, pero puede determinar el vuelo del balón, el agarre de las botas del jugador a al césped o el peso de una camiseta empapada por el esfuerzo del futbolista.



El balón: una esfera de ingeniería química

En el inicio de este deporte, los balones se fabricaron con una cámara interior inflable recubierta por paneles de cuero cosidos. El **cuero**, constituido principalmente por fibras de [colágeno](#) tratadas mediante procesos de curtido, proporcionaba resistencia, pero presentaba algunos inconvenientes. La superficie del balón no era completamente regular, las costuras alteraban la trayectoria y, cuando llovía, el material absorbía agua pues presentaba una alta [higroscopicidad](#). El balón aumentaba de masa y se volvía más duro, de modo que golpearlo -especialmente con la cabeza- podía resultar incómodo e incluso peligroso.

La llegada de los materiales poliméricos transformó el balón. En los modelos profesionales actuales, la cubierta suele estar formada principalmente por **poliuretano**. Los poliuretanos constituyen una familia de polímeros que se obtienen mediante la reacción entre el grupo isocianato y una molécula con grupos hidroxilo, normalmente polioles. La modificación de la estructura de los reactivos y las condiciones de fabricación se pueden obtener materiales rígidos, espumas blandas, adhesivos o elastómeros muy flexibles.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Pelota de cuero de 1930 (Imagen: futbolburbuja.com)

En el caso del balón de fútbol, lo que se quiere conseguir es flexibilidad, resistencia a la abrasión, baja absorción de agua y un tacto suave. Esto puede alcanzarse con el poliuretano. Además, puede moldearse para incorporar pequeñas texturas superficiales que modifican la interacción entre el balón y el aire.

Por debajo de esta cubierta se encuentran capas textiles y espumas poliméricas. Los tejidos de **poliéster o poliamida** ayudan a conservar la forma esférica, mientras que las espumas amortiguan el impacto. Al ser golpeado por el jugador, el balón se aplasta durante una fracción de segundo. La deformación de los materiales permite almacenar de forma temporal la energía, que después se libera, impulsando de nuevo la pelota.

En el núcleo se encuentra la cámara que contiene el aire. Con frecuencia se fabrica con **caucho butílico**, un copolímero formado mayoritariamente por isobutileno y una pequeña cantidad de isopreno. Su principal ventaja es su escasa permeabilidad a los gases. Las moléculas de aire atraviesan el material con dificultad, por lo que el balón conserva la presión durante más tiempo que uno equipado con una cámara de látex natural.

En este Mundial 2026, el protagonista es el **Trionda**, un esférico que no solo es una maravilla aerodinámica de cuatro paneles ondulados, sino una pieza de electrónica avanzada. Su nombre combina la idea de tres países con la imagen de las ondas. Los colores rojo, verde y azul hacen referencia a Canadá, México y Estados Unidos, mientras que su geometría se inspira en el movimiento de "la ola" en las gradas. La cubierta del modelo profesional está fabricada en poliuretano y se construye mediante cuatro paneles de geometría ondulada. En lugar de coserse con hilo, los paneles se unen mediante termosellado. El calor y la presión permiten formar una superficie prácticamente continua, con menor absorción de agua y menos irregularidades que una pelota cosida tradicionalmente.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



PARTES DEL BALÓN TRIONDA

Balón oficial del Mundial 2026

- 1 Cubierta exterior de poliuretano**
Superficie resistente, precisa y con buena respuesta al toque.
- 2 Textura en relieve**
Mejora el agarre y el control, incluso en húmedo.
- 3 4 paneles termofusionados**
Menos uniones, mejor estabilidad en vuelo.
- 4 Capas internas de EVA, poliéster y viscosa**
Aportan amortiguación, forma y consistencia.
- 5 Cámara interior**
Mantiene la presión y la forma del balón.
- 6 Válvula de inflado**
- 7 Chip IMU lateral**
Sensor conectado para ayudar al arbitraje.
- 8 Contrapesos internos**
Equilibran el balón para conservar la estabilidad.

Dato clave ★

El diseño de TRIONDA usa solo 4 paneles y un sensor interno para mejorar la precisión y el seguimiento del balón.

 MÁS PRECISIÓN Vuelo estable y trayectorias consistentes.	 MEJOR CONTROL Agarre superior incluso en condiciones húmedas.	 DISEÑO INNOVADOR Solo 4 paneles para más estabilidad y menos absorción de agua.	 TECNOLOGÍA Chip IMU para un seguimiento más preciso del balón.
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Infografía de las partes del Trionda, el balón del Mundial 2026 (Preparada con IA: ChatGPT).

En su interior alberga un sensor de movimiento de 500 hercios que envía señales constantes al **VAR (Árbitro Asistente de Video)** para resolver fueros de juego y goles "fantasma". Lo más asombroso es su gestión energética: el sensor se recarga de forma inalámbrica en una estación específica, eliminando la necesidad de puertos físicos. Además, la colocación de este dispositivo electrónico en una pelota sometida continuamente a golpes intensos no es sencillo. El sensor debe permanecer equilibrado para no desplazar el centro de masas y alterar el vuelo.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Las botas: adherencia, ligereza y protección

Las primeras botas de fútbol eran pesadas, rígidas y estaban confeccionadas, como en el caso del balón, casi enteramente en cuero. En las actuales, cada zona de la bota desempeña una función específica.

La **parte superior** puede fabricarse con tejidos sintéticos de **poliéster, poliamida o poliuretano termoplástico (TPU)**. Este último se comporta como un elastómero a temperatura ambiente, un tipo de polímero que destaca por su gran elasticidad, maleabilidad y viscoelasticidad. Su principal característica es que puede estirarse considerablemente, deformarse y recuperar su tamaño y forma original. Su combinación de elasticidad, resistencia al desgaste y facilidad de procesado lo convierte en un material habitual en refuerzos, recubrimientos y suelas.

Algunas botas conservan cuero natural en determinadas partes por su capacidad para adaptarse a la forma del pie. Sin embargo, los materiales sintéticos permiten reducir el espesor y controlar mejor la impermeabilidad. También facilitan la incorporación de superficies rugosas o relieves destinados a aumentar la fricción con el balón.

La **mediasuela** suele incluir espumas como el **copolímero de etileno y acetato de vinilo, conocido como EVA**. Dentro de esta espuma existen numerosas celdas llenas de gas. Al apoyar el pie o recibir un impacto, las celdas se comprimen y absorben parte de la energía mecánica. Después recuperan su volumen original.

La **suela** y los **tacos** deben transmitir la fuerza al suelo sin provocar un agarre excesivo que aumente el riesgo de lesión. La geometría y la dureza de los tacos cambian según se juegue sobre césped natural seco, terreno húmedo o césped artificial. Para fabricar estas piezas se utilizan **poliuretanos, TPU, poliamidas y otros polímeros reforzados**.



Las botas de fútbol que Pedri, jugador de la Selección Española, llevará en el Mundial 2026.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Camisetas que gestionan agua y calor

La tecnología ha llegado también al uniforme del futbolista. Durante un partido intenso, el cuerpo produce gran cantidad de calor y activa la sudoración. El sudor solo enfría eficazmente cuando se evapora; si queda retenido en una prenda empapada, se transforma en peso adicional y dificulta el intercambio térmico.

El **algodón** con el que se confeccionaban las antiguas camisetas está constituido principalmente por **celulosa**, un polímero natural rico en grupos hidroxilo. Estos grupos interaccionan con las moléculas de agua mediante enlaces de hidrógeno, por lo que la fibra absorbe fácilmente humedad. Esta propiedad resulta agradable en muchas prendas cotidianas, pero puede ser un inconveniente durante el ejercicio porque el algodón puede retener **el 7% de su peso en sudor**.

El poliéster, por el contrario, es mucho menos **hidrófilo**. Absorbe poca agua en el interior de sus fibras, el **0,4% de su peso en agua**. Con una adecuada estructura del tejido, el sudor puede desplazarse por pequeños canales entre los filamentos gracias al fenómeno de la **capilaridad**. La humedad se distribuye sobre una superficie mayor y se evapora con más rapidez.

Muchas camisetas incorporan además **elastano**, un material basado en segmentos de poliuretano que puede estirarse considerablemente y recuperar después su longitud inicial. Una pequeña proporción basta para que la prenda se ajuste al cuerpo sin limitar los movimientos.

Los escudos, dorsales y logotipos pueden aplicarse mediante películas y adhesivos **termoplásticos**. Su formulación debe soportar lavados, flexiones, rozamiento y sudor, que contiene agua, sales, urea y pequeñas cantidades de otras sustancias capaces de degradar determinados materiales.



Los guantes del portero: la química del agarre

En los guantes del portero, la palma se fabrica habitualmente con espumas de **látex**. El látex natural proviene de la savia del árbol del caucho. Su componente principal es el **poliisopreno** ($(C_5H_8)_n$), un polímero hidrocarbonado que le otorga su alta elasticidad e impermeabilidad. También hay látex sintético, que en este caso suele ser **caucho de estireno-butadieno (SBR)**, derivado de productos petroquímicos.

La formulación del látex debe buscar un equilibrio difícil. Un látex muy blando puede proporcionar un agarre excelente, porque se adapta a las irregularidades microscópicas del balón, pero tiende a desgastarse con rapidez. Uno más duro resulta duradero, aunque normalmente ofrece menos adherencia.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



El césped: naturaleza y polímeros

El terreno de juego natural requiere una química muy distinta. La hierba necesita **nitrógeno** para sintetizar proteínas y clorofila, **fósforo** para numerosas reacciones de transferencia de energía y **potasio** para regular procesos osmóticos y enzimáticos. Los fertilizantes aportan estos nutrientes en forma de sales que las raíces pueden absorber. El cuidado del campo exige controlar también el pH, la humedad, la aireación y la salinidad del suelo. Una fertilización excesiva no solo perjudica a la planta; el arrastre de nitratos y fosfatos puede contaminar aguas y favorecer procesos de **eutrofización**.

Tras la prohibición de las **fibras de nylon** originales en los años 80 y 90 debido a su excesiva abrasividad, la FIFA aprobó nuevamente el césped sintético en 2005. Ahora, el césped artificial está formado por fibras poliméricas, normalmente de **polietileno**, que le da suavidad, fijadas a una base de polipropileno o poliéster, que le otorga resistencia. Entre las fibras se introduce un relleno que ayuda a mantenerlas erguidas y modifica la amortiguación y la respuesta del terreno. Tradicionalmente se ha empleado **caucho granulado** procedente de neumáticos, aunque sus posibles efectos ambientales han impulsado la búsqueda de rellenos alternativos, entre ellos corcho, materiales termoplásticos y mezclas orgánicas.

El reto consiste en reproducir el comportamiento de un campo natural sin generar una superficie demasiado abrasiva ni excesivamente caliente. Los polímeros oscuros absorben radiación solar y pueden alcanzar temperaturas elevadas. También se investiga cómo reducir la pérdida de **microplásticos** por desgaste y dispersión del relleno.



Campo de fútbol con césped natural (drcha.) y con césped artificial (izda.)

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



El trofeo: oro, cobre y malaquita

Al final del Mundial, todo el desarrollo tecnológico del torneo converge en un objeto mucho más tradicional: la **Copa Mundial de la FIFA**. El trofeo actual, diseñado por el escultor italiano **Silvio Gazzaniga** y entregado por primera vez en 1974, mide aproximadamente 36,8 centímetros y pesa algo más de seis kilogramos.



Silvio Gazzaniga, artista milanés que diseñó y produjo la Copa del mundial de fútbol.

Está fabricado con **oro** de 18 quilates, es decir, de cada 24 partes de la aleación, 18 corresponden a oro, lo cual equivale a un 75 % de oro en masa. El resto está formado por otros metales, habitualmente **cobre**, **plata** u otros elementos en proporciones ajustadas para aumentar la dureza y modificar ligeramente el color.

El oro puro, de 24 quilates, es relativamente blando. Sus átomos pueden desplazarse con facilidad dentro de la red metálica, por lo que una pieza de oro muy puro se raya y deforma con más facilidad. Al incorporar otros metales se introducen átomos de distinto tamaño que dificultan el movimiento de las dislocaciones del cristal metálico. La aleación conserva el brillo y la resistencia a la corrosión del oro, pero adquiere mayor solidez.

En la base aparecen dos bandas de **malaquita**, un mineral de cobre (dihidróxido de carbonato de cobre (II), $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$). Su color procede de los iones de cobre en estado de oxidación +2. La disposición de los electrones en estos iones hace que absorban determinadas longitudes de onda de la luz visible y reflejen predominantemente tonalidades verdes.

El campeón no conserva permanentemente la copa original. Tras la ceremonia recibe un trofeo de campeón, mientras que la pieza auténtica continúa bajo custodia de la FIFA.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Una tecnología que debe hacerse sostenible

La evolución del equipamiento ha mejorado la comodidad, la seguridad y la precisión del juego. Sin embargo, ha aumentado también la utilización de materiales difíciles de separar y reciclar. Una bota puede contener tejidos, espumas, adhesivos, elastómeros y piezas rígidas unidos en una estructura inseparable. Una camiseta de poliéster puede reciclarse técnicamente, pero la presencia de elastano, estampados y acabados complica el proceso.

La próxima gran transformación del fútbol probablemente no consistirá solo en fabricar materiales más ligeros. Tendrá que reducir el consumo de recursos, prolongar la vida útil de los productos y facilitar su reutilización o reciclaje. Ya se emplea poliéster reciclado en numerosas prendas, pero reciclar botellas para producir camisetas no elimina la necesidad de diseñar una solución para esas camisetas al final de su vida útil.

El reto es pasar de un modelo lineal —fabricar, usar y desechar— a otro circular, en el que los materiales puedan recuperarse sin perder excesiva calidad.

La próxima vez que un delantero golpee el Trionda, un portero cierre las manos sobre el balón o el capitán vencedor levante la copa dorada, podremos interpretar de otra manera el espectáculo. Detrás de cada movimiento habrá cadenas poliméricas, aleaciones metálicas, fuerzas intermoleculares y estructuras microscópicas. **El fútbol se juega con los pies, pero también con química.**

REFERENCIAS

- Callister, W. D. y Rethwisch, D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. Wiley. Morón, E. [La química de las camisetas de futbol](#). HIVE Blog. 2025
- Pérez, I., Oliva, L.. [Ciencia de Materiales en el Fútbol](#). Ciencia UNAM-DGDC. 1.
- [European Chemicals Agency](#). Información técnica sobre microplásticos y materiales de relleno en superficies deportivas sintéticas.
- FIFA. [The FIFA World Cup 26 Official Match Ball: TRIONDA](#). 2025.
- [La Química y el deporte](#). Foro Química y Sociedad.
- [La Química de un balón de fútbol](#). Triple enlace. 2023