

El algoritmo del gol

Lamán Carranza

pág. 2

Roberto Rochín: entre lo ancestral y  
lo contemporáneo del juego sagrado  
Roberto Rochín

pág. 24

La ciencia de la celebración: cerveza,  
fútbol y el algoritmo emocional del gol  
Ana Romero

pág. 26

# BSIDIANA®

Ciencia y Cultura por México



## LA CIENCIA DEL FÚTBOL

Para entenderlo como nunca antes

AÑO 3, NÚM. 19.

MÉXICO, MAYO DEL 2026

---



## NUESTRAS REDES SOCIALES

 @Obsidianamx  @obsidiana\_mex  @obsidiana\_mex

Busca contenidos exclusivos en la versión digital de **Obsidiana**, disponible en:

**www.obsidianadigital.mx**

 **BSIDIANA**  
Ciencia y Cultura por México

MAYO 2026

obsidianadigitalmx@gmail.com



### Portada y Contraportada:

Gonzalo Infante / Proyecto México Antiguo  
Registro de jugadores de pelota en  
Guamúchil, Sinaloa, y representación de  
jugadores de pelota purépecha en Xcaret.

### Consejo Editorial

Presidente

**José Franco**

**Estrella Burgos (†), Lamán**

**Carranza Ramírez, Luz de Teresa,**

**Luis Roberto Flores Castillo,**

**Alejandro Frank, Azucena**

**Galindo, Cinthya García Leyva,**

**Marcia Hiriart, Alonso Huerta,**

**Antonio Lazcano, Omar López-**

**Cruz, María Nieves Noriega, Raúl**

**Rojas, Pedro Salazar, José Seade,**

**Marina Stavenhagen, Brenda**

**Valderrama Blanco, Yael Weiss**

### Equipo Editorial

**Lamán Carranza Ramírez**

Director General

**Diciembre Aguilar**

Directora de Comunicación y

Vinculación

**Omar Hernández**

Director de Diseño e Ilustración Editorial

**Jovany Cruz**

Colaborador de Diseño Editorial y Web

**No. 24. La ciencia  
del futbol**

**Diciembre Aguilar  
Pepe Franco**

Editores invitados



# CONTENIDO

2

FRAGMENTOS

16

Cuando todos jugamos para el mismo equipo  
Carlos Dante Román López

ESPEJO



ESPEJO



La magia del Juego de Pelota Mesoamericano  
Gonzalo Infante

6

ESPEJO



18

Torneo Mexicano de Robótica  
José Martínez Carranza

ESPEJO



20

Longevidad deportiva. El cuerpo que sostiene el juego  
Carlos Suárez Ahedo

8

El llamado chanfle  
Julia Tagüena

ESPEJO



ESPEJO



22

La matemática del penalti  
Francisco González Acuña

INTRUSIÓN



28

Constelaciones y supernovas  
Katherine Wong, Ivonne Kennedy, José Franco

ESPEJO



El gol intencionado: pensar, decidir y ejecutar el juego desde la motricidad  
Marco Antonio Barrios Medina

10

12

El videoarbitraje automático: ¡No fue penal!  
Erik Cuevas

ESPEJO



REFLEJOS



Irma Cuevas: el eco de la tribuna  
Por Diciembre Aguilar

30

ESPEJO



Órbita Futbolera  
Jordan Alamilla

14



## EL ALGORITMO DEL GOL

Lamán Carranza  
DIRECTOR GENERAL

**E**l fútbol es la religión más grande del planeta. No necesita traducción: un pase filtrado, una barrida a tiempo o un gol en tiempo extra se entienden en cualquier rincón del mundo. Ningún otro deporte logra que países enteros contengan la respiración al mismo tiempo. Además, esta sostenido por una maquinaria industrial descomunal, hablamos de un negocio que proyecta más de 13 mil millones de dólares por ciclo mundialista y que mueve fortunas en un mercado de transferencias que nunca duerme. El fútbol es identidad, memoria y pertenencia, pero también es una de las demostraciones de poder y mercado más brutales de nuestra era.

Detrás del grito de la tribuna siempre operó una estructura lógica impecable. La cancha no es solo césped, es un plano cartesiano donde la geometría, la física y el cálculo gobiernan cada milímetro. Un portero que achica no solo corre, resuelve un sistema de ecuaciones trigonométricas para reducir el ángulo de tiro bajo presión extrema. Un mediocampista calcula vectores de fuerza, coeficientes de fricción y variables de tiempo-espacio en una fracción de segundo. El fútbol siempre fue ciencia, una coreografía de probabilidades ejecutada a máxima velocidad.

Hoy, la vieja mística del instinto puro se topó de frente con la modelación algorítmica y el procesamiento de datos en tiempo real, convirtiendo el terreno de juego en un laboratorio de optimización táctica, ahora los partidos se empiezan a ganar en pantallas de computadora mucho antes de que el balón ruede.

**El fútbol siempre fue ciencia, una coreografía de probabilidades ejecutada a máxima velocidad.**

Desde Obsidiana reunimos científicos, matemáticos y cronistas para desarmar el juego desde sus raíces. Desde el origen con el juego de pelota mesoamericano, ese rito sagrado

que ya era un sistema matemático complejo. A la tensión máxima al desnudar la matemática del penalti, donde la teoría de juegos descifra el duelo milimétrico de lenguaje corporal entre el cobrador y el arquero. Hasta desafiar el azar con el simulador probabilístico "Orbita futbolera" que procesa miles de variables para anticipar el destino de la próxima fiesta del fútbol.

El fútbol siempre tuvo una arquitectura invisible llena de números y fórmulas. El próximo campeón del mundo no va a ganar con fe ni con orgullo, va a ganar porque alguien, en algún cuarto lleno de pantallas, ya resolvió la ecuación antes del pitazo inicial. La pregunta no es si la ciencia cambió el juego, la pregunta es si estás listo para descifrarlo.

Bienvenidos a la *Ciencia del Fútbol*.

**Líder en el sector de eventos deportivos paralímpicos**



**VOLARE México** es un proyecto de alto valor social y deportivo, cuya misión es **impulsar el tenis sobre silla de ruedas** y las distintas disciplinas del deporte adaptado en México, brindando herramientas y oportunidades para **reconstruirse, crecer, fortalecerse y generar una mayor integración** dentro de programas y proyectos de los diferentes sectores deportivos.



Para VOLARE, **las actividades deportivas** no sólo benefician la salud física, sino que también **fortalecen la mente, desarrollan resiliencia** y representan una poderosa **lección de vida, inclusión y superación personal.**

El deporte adaptado es una forma de **transformar obstáculos en nuevos puntos de partida**, fomentando la convivencia, la confianza y la integración social.



El **deporte** no sólo cambia cuerpos, **transforma vidas y construye** un mundo más inclusivo.

**FILOSOFÍA VOLARE**

“Cada hombre tiene dos alas, pero sólo quienes sueñan aprenden a volar.”

— Jim Morrison

“Y si no pudiera correr ni siquiera caminar, aprenderé a volar.”

— Alex Zanardi

**INFORMES**

**Claudia Taboada**  
55 54 07 07 78

**Paolo Bonino**  
44 28 66 96 64

[www.ssdvolare.it](http://www.ssdvolare.it)

[www.ssdvolare.com](http://www.ssdvolare.com)



@volare\_tennis



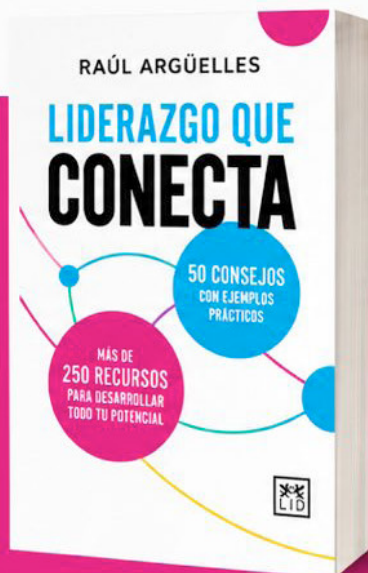
@VOLARE.MEXICO



@Volare Mexico

# LIDERAZGO QUE CONECTA

50 consejos con ejemplos prácticos para liderar con propósito y generar impacto humano.



Raúl Argüelles es un referente de clase mundial en la Dirección General de Recursos Humanos. Su libro *Liderazgo que conecta* es un regalo que inspira a quienes desean convertirse en líderes de alto impacto humano.”



Más que un libro, es un recurso permanente para el autoconocimiento y el cambio personal. Una guía práctica que acompaña al líder en cada reto y etapa de su desarrollo.”



**RAÚL ARGÜELLES**



Conoce más del libro en:

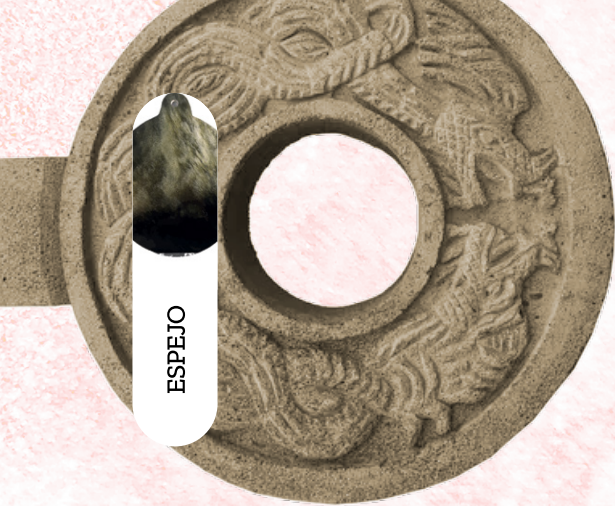
<https://liderazgoqueconecta.com/>



Los ingresos por las regalías de la venta de este libro serán donados a Fundación UNAM.



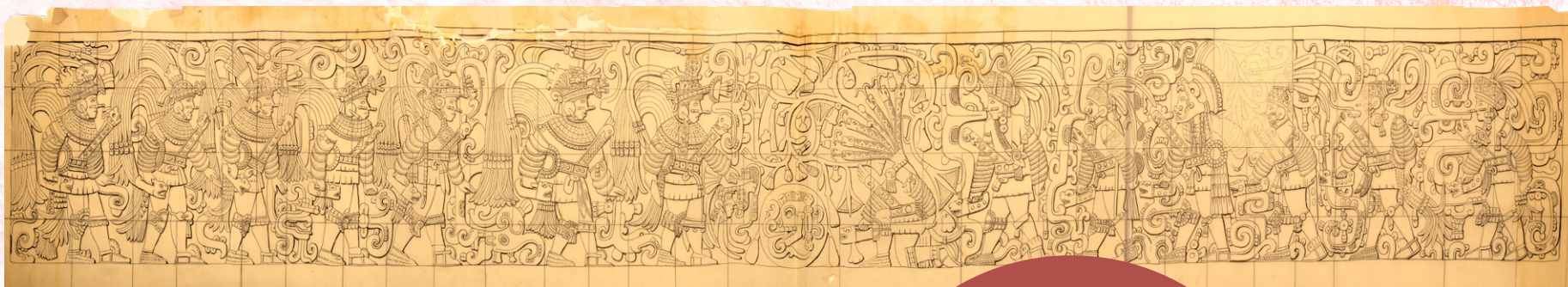




ESPEJO

# LA MAGIA DEL JUEGO DE PELOTA MESOAMERICANO

Gonzalo Infante



**El juego de pelota mesoamericano fue el primer ritual universal de América.**

**C**uando Hernán Cortés regresó por primera vez a España en 1528, lo hizo con oro, con el magnífico penacho de Moctezuma y con otras maravillas del arte plumario americano. También llevó chile, jitomate y chocolate, ingredientes que transformarían la dieta universal. Pero entre todas esas novedades, hubo una que dejó a la corte de Carlos V verdaderamente atónita: un grupo de doce jóvenes indígenas, mexicas o tlaxcaltecas, que ocupaban un preciado espacio de carga en el barco no

por su fisonomía, sino por una habilidad extraordinaria. Jugaban con una pelota negra de caucho de casi dos kilogramos que, al golpearla, rebotaba con una vitalidad que nadie en Europa había visto jamás.

Transportar a esos atletas no era un asunto menor: comían, bebían, requerían cuidados para mantenerse sanos y fuertes durante la travesía. Quizás fue el deseo de impresionar al rey lo que motivó a Cortés a asumir ese gasto, o quizás intuyó algo que el tiempo confirmaría: que ese juego era mucho más que un entretenimiento, era el eje ritual de toda una civilización.

La pelota mesoamericana era una masa de hule procesada con componentes vulcanizadores que, una vez cocida, adquiría una capacidad elástica sin paralelo. Almacenaba la energía del golpe y la devolvía: después del rebote, regresaba cerca del lugar de donde había partido. En la época de la conquista no existía ningún otro objeto capaz de hacer eso, las pelotas usadas en otros juegos del mundo eran torpes en comparación; nunca tuvieron

esa respuesta, esa vitalidad al ser golpeadas.

Esa propiedad definió la naturaleza del juego: no se trataba de atrapar la pelota, sino de golpearla, de mantener su movimiento, de hacer que rebotara y regresara. Las manos no intervenían, eran las caderas y los antebrazos los encargados

de imprimir fuerza, y los movimientos resultantes tenían una destreza y una belleza plástica que complementaban el espectáculo. La pelota en vuelo no era solo un objeto deportivo: era un ser vivo, un astro sagrado. En muchos relieves que conocemos, aparece una calavera en su centro, era, en sí misma, una divinidad en disputa.

El juego se practicó desde Arizona, Chihuahua, hasta la frontera sur de Honduras, abarcando toda Mesoamérica y Aridoamérica. En ese vasto territorio, habitado por aproximadamente veinte millones de personas que hablaban lenguas distintas y pertenecían a culturas diversas, el juego era el gran denominador común. Los vestigios de más de 2,500 canchas, llamadas tlaxcos, tastes o pok ta pok, según



la región, demuestran que eran elementos fundamentales en la traza urbana de las ciudades antiguas. Desde Paquimé, en Chihuahua, hasta Copán, en Honduras, el juego estaba presente en todas partes.

Las canchas varían enormemente en tamaño, pero comparten una misma lógica espacial. El juego de pelota de Chichén Itzá es monumental: cuando uno está ahí, piensa que ese era un espacio para superhombres, un recinto de masas donde probablemente no se jugaba solo con caderas y antebrazos, sino también con palos o mazos, como lo sugieren los murales del conjunto de Tepantitla en Teotihuacán. En el extremo opuesto están canchas como la de Ranas, en la Sierra Gorda de Querétaro, que tiene apenas el tamaño del patio trasero de un edificio moderno, aunque con tribunas elegantes bien integradas al conjunto. Algunas ciudades poseían decenas de ellas: Cantona, en Puebla, tenía 28; El Tajín, en Veracruz, 21. La coincidencia geométrica entre canchas de culturas distantes es notable: el juego de pelota de Copán es idéntico al de Xochicalco, en Morelos; el de Kohunlich, en Quintana Roo, tiene medidas casi idénticas al de Uxmal, en Yucatán.

El significado simbólico del juego era tan profundo como su extensión geográfica. El Popol Vuh narra la historia de los gemelos divinos que viajan al inframundo y



regresan jugando, uno frente al otro, uno contra el otro. En los relieves del juego de pelota de Chichén Itzá aparecen siete jugadores contra siete: uno sostiene en sus manos la cabeza de un contrincante decapitado, y del cuello del sacrificado brotan siete serpientes junto a una planta de maíz. Es un final que parece brutal pero que el relieve presenta como generoso: el sacrificio alimenta al mundo, hace florecer la vida. En El Tajín, los relieves muestran escenas de sacrificio humano y también de autosacrificio, personajes sangrándose el miembro viril para alimentar al cosmos con su sangre, todo entretejido con historias mitológicas que aún no hemos descifrado del todo, pues no conocemos la lengua ni los dioses de esa cultura.

La brutalidad de la conquista rompió la transmisión de buena parte de ese conocimiento. No sabemos con precisión las reglas del juego, cuántos jugadores participaban por bando, ni por qué algunos encuentros culminaban en sacrificio mientras otros eran simplemente partidas entre gobernantes o jugadores profesionales. Lo que sí sabemos es que la memoria colectiva de Mesoamérica ha demostrado ser más resistente que esa ruptura.

Hoy, en Huamúchil, Sinaloa, los tableros juegan una versión del juego de pe-

lota de cadera en un espacio que llaman Taste, posiblemente derivado de Tlaxco. Las pelotas de caucho, de dos kilogramos, se fabrican en Guatemala y se guardan en redes para preservar su forma y elasticidad. También existe una variante con pelota de un kilo que se golpea solo con los antebrazos, con dos jugadores por equipo. En Oaxaca se practica la pelota mixteca, con manoplas y pelota de un kilo. En Veracruz y Michoacán se juega con pelotas de fuego. En el Parque Xcaret, en Quintana Roo, los propios jugadores de Huamúchil enseñaron a campesinos mayas a jugar, y el turismo lo ha sostenido.

El juego de pelota ha vivido más de tres mil años en la memoria colectiva. Ahora que los tres países de Norteamérica se preparan para ser sede de un campeonato mundial de fútbol, vale la pena preguntarse si en el imaginario colectivo de nuestros pueblos el juego precolombino no sigue rebotando, invisible pero presente, en cada cancha moderna. La pelota sigue en movimiento, la sacralidad, hoy, tiene otro nombre: el orgullo de representar a tu país. Y si alguien lo duda, que le pregunte a un mexicano, a un argentino, a un brasileño, o al mismo español, si el fútbol es o no sagrado. ●



# EL LLAMADO CHANFLE

Julia Tagüena

INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES, CENTRO DE CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD,  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

*En recuerdo de mi querido maestro de mecánica, el Dr. Jorge Flores, quien me explicó qué es la fuerza de Magnus.*

**C**uando se empieza a estudiar física, cinemática, en la secundaria, a los objetos que se mueven, se los trata como puntos en el espacio y no se considera su forma. También, aunque sabemos que el aire es un fluido que ofrece resistencia, llamada fuerza de arrastre, se ignora su efecto cuando se dice que todos los objetos caen con la misma aceleración, debida a la gravedad,  $g$ . Claro que, a medida que se profundiza en el estudio de la mecánica, se llega a la dinámica rotacional: los objetos giran. Cuando se estudian los fluidos, como el agua y el aire, el flujo suave sobre un objeto, llamado flujo laminar, a una cierta velocidad se

vuelve turbulento, donde aparecen vórtices y si estamos en un avión, tenemos que ponernos el cinturón de seguridad.

Así, en particular las pelotas, además de trasladarse, pueden girar y el movimiento de un objeto que gira en el aire puede producir hasta turbulencias. Las cosas se complican y pueden pasar efectos sorprendentes, como lo que llamamos habitualmente “chanfle”.

**El chanfle y la “folha seca” revelan cómo la física transforma un tiro libre en arte impredecible.**

Chanfle es una palabra muy latinoamericana, es un golpe oblicuo que produce la rotación de una pelota, que se desvía de su trayectoria original... y tiene que ver con algunos de los mejores goles que hemos visto en los mundiales.

Los futbolistas profesionales no tienen que tomar cursos de mecánica, aunque nunca sobra saber ciencia. Aprenden intuitivamente a manejar la mecánica y la aerodinámica. Sin embargo, Adidas, creadora de la pelota oficial del mundial, llamada “trionda”, sí hace estudios experimentales, con diferentes “patadas”, en túneles de viento, para analizar el efecto de la rotación en el aire. Por eso las pelotas tienen gajos, en este mundial diseñada con protuberancias que incluyen a los tres países anfitriones (México, Estados Unidos y Canadá) con colores rojo, verde y azul, con una superficie que no es lisa, para que en su movimiento arrastre el aire. Cuando va girando la pelota, se mueve el aire de manera diferente de un lado y del otro.

Un ejemplo del efecto del movimiento en el aire es el Principio de Bernoulli (que explica cómo se sostiene un avión en el aire por la forma aerodinámica de sus alas) que dice que a mayor velocidad del fluido la presión es menor. Entonces, si de un lado de la pelota la velocidad es más grande que del otro, conforme va girando también la presión del aire es diferente, y eso hace que la bola se desvíe de su dirección original. Es como cuando alguien cobra un tiro libre o un tiro de esquina.

Pero lo que sucede en el chanfle es en realidad un efecto un poco más complicado que, en el siglo XIX, estudió un físico alemán llamado Heinrich Magnus. Él realizó



Imagen de gol con chanfle



Pelota Trionda del mundial 2026.

experimentos y observó que la bola al girar en el aire crea una turbulencia, que produce una fuerza perpendicular a la velocidad del movimiento de la pelota. El flujo de aire a un lado de la pelota gira más rápidamente que del otro, por la dirección que le dio la patada a la bola y el giro producido. Entonces hay diferencia de presión, y por lo tanto aparece una fuerza que desvía al balón en el sentido de giro. Pero, además, el aire rodea a la pelota y se desprende de su superficie, pero de un lado, donde el aire se mueve más rápido, tarda más en desprenderse, sobre todo si hay turbulencia. Así la bola que gira avienta el aire de lado y la reacción a esa fuerza se llama la fuerza de Magnus.

¿Cómo lograr que una pelota describa una curva para meterse en la portería? Hay que calcular no solo la

velocidad sino el lugar exacto de la patada, el ángulo correcto fuera del centro, para producir el giro y el número de vueltas necesarios para volver al tiro imparable.

Mi amigo físico y amante del fútbol, Mariano López de Haro, me hizo notar otro ejemplo de chanfle en el que la fuerza de Magnus interviene también. Se trata de la llamada “folha seca” cuya invención se le atribuye a Waldyr Pereira, *Didí*, quien, además de haber sido bicampeón del mundo con Brasil jugó en varios equipos, incluyendo el Veracruz de México. Este tipo de movimiento del balón, que recuerda la caída de las hojas secas de los árboles, resulta de un golpeo potente cerca de la zona central, lo que hace que el esférico adopte una trayectoria ascendente inicial muy pronunciada, misma que luego cambia para bajar

bruscamente en un trazado zigzagueante difícilísimo de interceptar para los porteros. Esta técnica de golpeo ha sido perfeccionada y utilizada por futbolistas como Roberto Carlos o Cristiano Ronaldo. En particular, se dice que el gol que le marcó Roberto Carlos a Fabien Barthez, portero de la selección francesa, en un tiro libre durante un partido disputado en Lyon en 1997 dentro del Tournoi de France, previo al mundial de 1998. En una entrevista a Roberto Carlos él dice que no hay explicación, pero justamente la física busca entender al mundo. El punto de vista de la física es que el mundo es entendible, que podemos hacer experimentos, separar las componentes y llegar a una comprensión cuantitativa.

Podemos concluir que la ciencia del deporte ha sido fundamental para mejorar técnicas y equipos. Además, puede ser muy útil en la docencia, porque tanto niñas como niños querrán saber cómo lo hizo el futbolista para desviar la dirección de la pelota y ganar (ojalá que sea México) un partido. ●



Video de muestra,  
gol de Roberto Carlos,  
Francia 1998.





# EL GOL INTENCIONADO: PENSAR, DECIDIR Y EJECUTAR EL JUEGO DESDE LA MOTRICIDAD

Marco Antonio Barrios Medina

COORDINADOR DEPORTIVO, MÉXICO

**E**n el fútbol, el gol suele interpretarse como un instante de inspiración, talento individual o resultado del juego colectivo. Sin embargo, una mirada más profunda permite comprenderlo como la culminación de un proceso complejo en el que percepción, decisión y ejecución se articulan en fracciones de segundo. El gol no ocurre por azar: es la consecuencia de una inteligencia motriz entrenada.

Desde esta perspectiva, jugar fútbol implica mucho más que dominar técnicas aisladas. Supone el desarrollo de un sistema integral en el que mente, cuerpo, emoción e interacción social operan de manera armónica. La motricidad,

entendida como la capacidad de generar movimientos conscientes, intencionados y significativos, se convierte en el eje que articula este proceso. Como señala Sérgio (2014), la motricidad humana es el cuerpo en acción, una expresión intencional que trasciende el mero movimiento.

A través de ella, el jugador no solo ejecuta acciones, sino que interpreta el entorno, anticipa escenarios y responde a condiciones cambiantes con precisión y sentido. En esta línea, el movimiento no puede reducirse a un acto me-

cánico, sino que debe comprenderse como una expresión integral del ser humano en la que intervienen dimensiones cognitivas, afectivas y sociales (Sérgio, 1999).

El proceso puede entenderse a partir de tres dimensiones interdependientes:

**El gol nace de una armonía entre percepción, decisión y movimiento consciente dentro del juego.**

## Percepción del juego

El jugador aprende a leer el entorno: identificar espacios, reconocer la posición de compañeros y adversarios, y anticipar trayectorias del balón.

Esta habilidad no es innata, sino que se desarrolla median-

te experiencias motrices que estimulan los sentidos y fortalecen la atención selectiva. En palabras de Merleau-Ponty (1945/1994), “la percepción no es una ciencia del mundo, sino el trasfondo sobre el cual se destacan todos los actos” (p. 10).

## Toma de decisiones

A partir de esa lectura, el jugador selecciona la mejor opción posible —pasar, conducir o rematar— en función del contexto, el tiempo disponible y la presión del rival. Aquí, la motricidad adquiere una dimensión cognitiva: decidir implica elegir entre múltiples posibilidades bajo condiciones de incertidumbre. Como plantea Wein (2004), el fútbol es un juego de decisiones constantes, donde la comprensión





del juego resulta más determinante que la ejecución aislada de habilidades técnicas.

### Ejecución motriz

Finalmente, el movimiento consciente se concreta. No se trata solo de golpear el balón, sino de hacerlo con precisión, equilibrio y control. En esta fase intervienen componentes sensomotores como la orientación, el ritmo, la sincronización, la reacción y la adaptación. La ejecución es la manifestación visible de un proceso interno que integra percepción y decisión.

Un remate preciso no es casualidad: es la expresión de una armonía funcional entre lo que se percibe, lo que se decide y lo que se ejecuta.

La relevancia de este enfoque trasciende el rendimiento deportivo. La práctica de movimientos conscientes fortalece la seguridad personal, la estabilidad emocional y la capacidad de actuar con claridad bajo presión. De este modo, el entrenamiento deja de ser exclusivamente físico para convertirse en un proceso formativo integral.

Para consolidar esta perspectiva, resulta fundamental diseñar entornos de aprendizaje donde el jugador piense, decida y actúe de manera constante. Juegos

reducidos, tareas condicionadas y ejercicios con estímulos variables permiten generar experiencias significativas que favorecen la transferencia al contexto real del partido.

En este sentido, la repetición deja de ser mecánica y se vuelve intencionada. Cada acción tiene un propósito claro, lo que permite construir patrones de juego transferibles a situaciones reales. Así, el gol deja de ser un evento aislado para convertirse en la consecuencia lógica de un proceso entrenado.

En este marco, el concepto de gol intencionado se propone como una construcción teórica que integra principios de la motricidad y la toma de decisiones

**Jugar fútbol implica interpretar el entorno y actuar con intención en fracciones de segundo.**

en el deporte. Más que buscar el gol, se trata de construir las condiciones para que este emerja de manera consistente.

Formar jugadores desde esta mirada implica enseñarles a pensar el juego, a habitar su cuerpo con conciencia y a actuar con intención. En última instancia, educar en el fútbol es formar individuos capaces de comprender, decidir y transformar el juego con sentido. ©



### Referencias

- Merleau-Ponty, M. (1994). *Fenomenología de la percepción* (J. Cabanes, Trad.). Planeta-Agostini. (Obra original publicada en 1945)
- Sérgio, M. (1999). *Motricidad humana: una nueva ciencia del hombre*. Instituto Piaget.
- Sérgio, M., Trigo, E., Genu, M., & Toro, S. (2014). *Motricidad humana: una mirada retrospectiva*. Colección Léeme.
- Wein, H. (2004). *Fútbol a la medida del niño*. Real Federación Española de Fútbol.



# EL VIDEOARBITRAJE AUTOMÁTICO: ¡NO FUE PENAL!

Erik Cuevas

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**E**s un signo de los tiempos: el árbitro y sus abanderados de carne y hueso bajan al terreno de juego acompañados de colegas electrónicos. Hoy en día computadoras y medio centenar de cámaras los vigilan y corrigen, en caso necesario.

En el fútbol moderno el sistema VAR (*Video Assistant Referee*) es la hoy imprescindible infraestructura de adquisición, sincronización y análisis de datos en tiempo real, diseñada para asistir al árbitro en decisiones críticas. Aunque lo que el público ve en la televisión es relativamente simple (repeticiones en cámara lenta), la arquitectura tecnológica es muy sofisticada.

En la base del VAR se encuentra una red de cámaras de alta velocidad y alta resolución. En competiciones como la Copa Mundial o la Champions League, se emplean entre 30 y 50 cámaras por estadio. Desde cámaras estándar (50–60 fps), hasta cámaras *super slow motion* (100–120 fps) e incluso *ultra slow motion* (hasta 500 fps). La multiplicidad de ángulos permite reconstrucciones espaciales bastante precisas de jugadas complejas.

Un elemento crítico del VAR es la sincronización temporal. Todas las cámaras son combinadas mediante relojes de referencia, lo que permite comparar eventos simultáneos, por ejemplo, el instante exacto del contacto balón–pie en una jugada de fuera de juego.

Sobre esta base se construye el sistema propiamente dicho: un equipo de árbitros en una sala remota (VOR, *Video*

*Operation Room*) accede a todas las señales en tiempo real. Utilizan software especializado para observar jugadas cuadro por cuadro, aplicando un zoom digital y seleccionando ángulos relevantes. Ese software incorpora además herramientas de ano-

tación, marcadores temporales y, en algunos casos, superposición gráfica. Incluso, en torneos recientes, se ha implementado el llamado “offside semiautomático”, que combina visión por computadora con sensores físicos. Aquí aparecen dos componentes importantes:

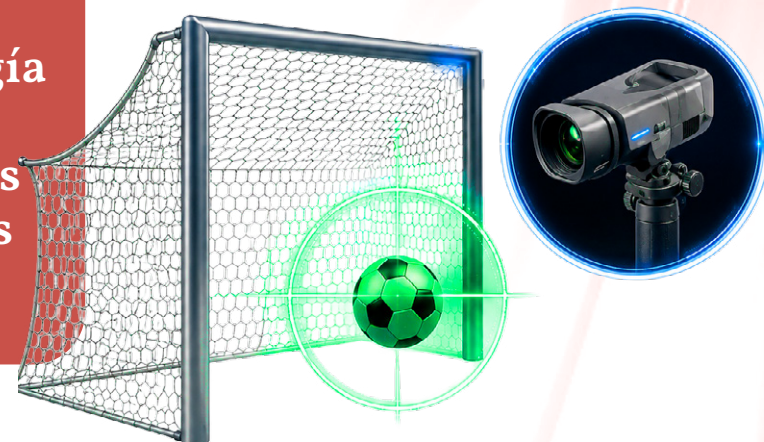
**El VAR combina cámaras, sensores y juicio humano para decidir jugadas en tiempo real.**

- Primero, un sistema de tracking óptico basado en múltiples cámaras calibradas que detectan puntos clave del cuerpo de cada jugador (hasta 29 puntos en sistemas avanzados). Esto genera un modelo tridimensional de las posiciones corporales.





Incluso con tecnología avanzada, el VAR mantiene márgenes de error en jugadas milimétricas.



la resolución temporal es de 2 ms; en ese intervalo, un jugador que corre a 7 m/s se desplaza aproximadamente 1.4 cm.

Estos no son el cálculo en sí, sino una visualización posterior, lo cual a veces genera confusión: la imagen que ve el público no es necesariamente la que usó el árbitro para decidir, sino que es una representación simplificada del proceso.

En conjunto, el VAR es un sistema híbrido que combina visión computacional, sensores físicos, sincronización de alta precisión y juicio humano. A pesar de su sofisticación, opera cerca de límites prácticos de medición: los márgenes de error son pequeños, pero no despreciables, y en situaciones límite pueden ser comparables con las diferencias que se intentan decidir. Esto explica por qué, incluso con tecnología avanzada, persisten las controversias en jugadas milimétricas. ●

Además, en decisiones subjetivas (faltas, manos), el VAR no elimina la interpretación humana. La tecnología proporciona evidencia, pero no una función de decisión automática. Por ello, el protocolo VAR limita su uso a “errores claros y obvios”, una restricción sujeta a interpretación.

Finalmente tenemos la capa de integración audiovisual para el espectador, que genera gráficas en tiempo real (líneas de fuera de juego, reconstrucciones 3D).

- Segundo, un sensor inercial dentro del balón —introducido en balones oficiales como el de la Copa Mundial de la FIFA 2022— que mide aceleraciones a frecuencias del orden de 500 Hz. Este sensor permite determinar con gran precisión el instante exacto del golpeo del balón, reduciendo la incertidumbre en la definición del “momento del pase”.

Sin embargo, el VAR no elimina completamente los márgenes de error. Estos provienen de varias fuentes:

- En cuanto al espacio, la resolución de imagen y la precisión de calibración de cámaras introducen errores típicos del orden de  $\pm 2$  a  $\pm 5$  cm. La reconstrucción 3D depende de modelos geométricos del estadio y de la correcta identificación de puntos corporales, lo cual puede fallar en situaciones de oclusión (jugadores tapándose entre sí).
- En cuanto al tiempo, incluso con sensores en el balón, existe un error residual asociado al muestreo. A 500 Hz,





# ÓRBITA FUTBOLERA

## Leer el partido antes del silbatazo

Jordan Alamilla

MÉDICO CIRUJANO | PENSADOR TRANSVERSAL | COLABORADOR CREATIVO INVITADO



**E**l fútbol parece caos: un gol al minuto 93, una baja inesperada, una lluvia que cambia el ritmo o una final decidida por un detalle. Pero debajo de esa incertidumbre hay señales. Órbita Futbolera nace para leerlas. No es una quiniela ni una promesa de certeza: es un simulador prepartido que convierte datos deportivos y contexto competitivo en escenarios probables.

El partido, en realidad, empieza antes del silbatazo: cuando se anuncia la alineación, cuando un equipo llega fatigado, cuando hay ausencias clave, cuando la sede impone altura o clima, cuando el estadio empuja y la presión del torneo cambia la forma de jugar.

Las corazonadas lo sienten, Órbita lo mide

Órbita trabaja con esa realidad: toma lo que rodea al encuentro y lo transforma en una lectura cuantificable. No parte de la corazonada, sino de una pregunta: ¿qué condiciones hacen más probable un resultado que otro?

El motor probabilístico de Órbita, llamado Kairos —el concepto griego del momento exacto donde una decisión lo cambia todo—, construye un índice ajustado a partir de cinco capas: fuerza del equipo, momento de forma, alineación disponible, contexto del partido y choque táctico. La primera mide el peso competitivo de cada plantel: rendimiento histórico, calidad de



plantilla, ataque y defensa. Pero eso no basta. Un favorito puede llegar desgastado; un rival menor puede tener el escenario perfecto para competir.

La segunda capa observa cómo llega cada equipo. No pesa igual ganar contra rivales débiles que sostener resultados sólidos ante rivales fuertes. La tercera revisa quién juega: una baja sensible, una rotación o una alineación más ofensiva pueden modificar el equilibrio del sistema antes del primer silbatazo. La cuarta mira dónde y bajo qué condiciones se disputa el encuentro: altitud, clima, descanso, viaje, ambiente del estadio y fase del torneo, factores que ningún marcador registra pero que pesan. La quinta compara estilos de juego: presión alta contra salida limpia, bloque bajo contra posesión, transición rápida contra defensa adelantada, balón parado contra fragilidad aérea. A veces el equipo menor gana porque su estilo es el antídoto del favorito.

Con esas capas, Órbita genera un índice ajustado para cada equipo. La diferencia entre ambos índices se transforma en una ventaja relativa con una función logística: si los equipos llegan parejos, el partido se mantiene abierto; si uno domina claramente las condiciones, la curva inclina el escenario a su favor. Esa función no elimina el empate: sólo mide la inclinación inicial. En fútbol, la superioridad no siempre se expresa como dominio total; a veces apenas cambia unos puntos porcentuales, y aun así modifica la lectura del juego.

Después, el simulador estima cuántos goles puede producir el partido y cómo se repartirían. A esos promedios se les conoce como goles esperados. El clima, el ritmo, la táctica y el contexto pueden subir o bajar ese total. Un partido abierto, con equipos

verticales y defensas expuestas, no se comporta igual que un duelo cerrado, condicionado por la presión o por la necesidad de no perder. Finalmente, Órbita usa una distribución de Poisson para calcular la probabilidad de cada marcador exacto.

De esa matriz salen dos lecturas. Una es el marcador modal: el resultado exacto más probable. La otra es la probabilidad agregada de victoria, empate o derrota, que suma todos los caminos posibles para cada desenlace. Por eso puede ocurrir algo muy futbolero: que el marcador más probable sea 1-1, pero que la suma de todos los escenarios de victoria favorezca a uno de los equipos. El simulador no escoge un resultado aislado: muestra el mapa completo de posibilidades.

Órbita muestra un escenario base con los datos precargados y deja explorar escenarios modificados: ¿qué pasa si llueve?, ¿si falta una pieza clave?, ¿si el visitante llega fatigado?, ¿si el local juega con el estadio lleno? Cada ajuste mueve la aguja y convierte al usuario en algo más que espectador: lo vuelve analista. Así compara versiones del mismo partido y descubre cuánto pesa cada condición.

**Y después del análisis viene el juego. La plataforma suma Puntos Órbita, rachas e insignias, y el Pulso Órbita: una vista colectiva sobre cómo se está leyendo el**

**partido en tiempo real. No se trata sólo de acertar, sino de leer su dificultad y entender por qué un resultado era más probable.**

El fútbol seguirá siendo impredecible, y ahí está su belleza. Pero impredecible no significa inexplicable. Hay patrones que se observan, variables que se miden y preguntas que se responden mejor con datos. Órbita Futbolera no le quita magia al juego. Le añade una nueva forma de vivirlo: con pasión, conversación y ciencia. Permite que el aficionado juegue a ser analista y que los niños se acerquen a la probabilidad sin sentirla lejana. Porque el fútbol se grita en la tribuna, pero también se puede explorar con datos. 📊

**Un partido es un sistema con muchas variables. Órbita las analiza una por una, como toda ciencia ante un fenómeno complejo.**

**Escanea el QR  
y entra al juego.**

Ciencia, Cultura y Deporte  
Hecho en México





# CUANDO TODOS JUGAMOS PARA EL MISMO EQUIPO

Carlos Dante Román López



**D**esde pequeños aprendemos que para jugar fútbol no basta con tener un balón: necesitamos reglas claras, saber qué es una falta, cuándo hay fuera de lugar o por qué existe el árbitro, las reglas evitan que el partido se vuelva un caos.

En la vida pasa lo mismo, por eso es tan importante que en México se dé una educación cívica en primaria y secundaria que permita a la niñas, niños y jóvenes conocer sus derechos, sus obligaciones, como ejercerlos, y las reglas básicas para convivir en sociedad, que hoy tanta falta nos hace.

El fútbol nos ayuda a entenderlo muy bien. En un Mundial, por ejemplo, no importa si eres aficionado al América, a las Chivas o al Cruz Azul, cuando juega la

selección de México, no hay colores, nos olvidamos del amarillo, el rojo y blanco o el azul, todos somos tricolores. Esa unión sucede porque hay algo más grande: el deseo de ver a nuestro país ganar.

Cuando desde la infancia entendemos esto, crecemos con conceptos diferentes que permiten ver más allá de ciertas posturas o posiciones políticas. Tendríamos ciudadanos que verían a los partidos políticos, igual que los equipos, sabiendo que tienen formas distintas de entender el juego y por ende de jugar: algunos son más ofensivos, otros más defensivos; unos apuestan por la velocidad, otros por la estrategia. Pero cuando un

**El fútbol enseña que las reglas y el respeto son esenciales para convivir en comunidad.**

partido llega al gobierno, es como cuando un jugador es convocado a la Selección: ya no juega por su club, juega por México.

Así debería funcionar nuestra vida pública: distintas posturas, ideas e ideologías, sí, pero un mismo objetivo: Una nación grande.

Los Mundiales nos han dado ejemplos muy ilustrativos de cómo el fútbol puede unir incluso a quienes estaban divididos, a mostrar respeto y fraternidad.

En 1998, durante el Mundial de Francia, el equipo campeón estaba formado por jugadores de orígenes muy distintos: argelinos, africanos y franceses, como

Zinedine Zidane líder y estrella del equipo francés, y leyenda mundial, de ascendencia argelina. A ese equipo lo llamaron “Black-Blanc-Beur” (en alusión a los jugadores negros-blancos- árabes o de ascendencia norteafricana), y por unos días el país entero celebró la diversidad como una unidad que los hacía más fuertes.

En 2018, cuando Japón quedó eliminado, sus aficionados limpiaron las gradas del estadio antes de irse. Y el equipo dejó impecable su vestidor con una nota que decía “Gracias”. Ese gesto dio la vuelta al mundo como ejemplo de respeto, civismo y responsabilidad colectiva.

También en México debemos recordar que somos grandes anfitriones, no solo de dos copas del mundo (en 1970, y 1986) y una tercera en puerta (2026), sino por como atendemos a todo aquel foráneo que llega: “lo atendemos como en casa”, sería un error ol-

vidar las palabras del astro brasileño, Edson Arantes do Nascimento, Pelé, que dijo, en referencia al mundial de México 70: “Éramos bien recibidos en cualquier lugar al que íbamos, y después con el premio que Dios nos dio, de ser campeones del Mundo en México; a la afición mexicana, al pueblo mexicano, les agradezco de corazón todo el cariño y toda la atención que nos dieron.”. Estas palabras nos conectan con la esencia del fútbol y con el espíritu que queremos retomemos en las niñas, niños y jóvenes: la amabilidad y fraternidad que nos caracteriza.

El fútbol nos enseña que nadie gana un partido solo. Que para avanzar necesitamos reglas, respeto y trabajo en equipo.

Si desde pequeños aprendiéramos educación cívica con la misma emoción con la que aprendemos a gritar un gol, quizá entende-

**Cuando juega México, desaparecen los colores y el país entero juega como un solo equipo.**



ríamos que el verdadero juego de la vida consiste en cuidar nuestro país, respetar a los demás y construir comunidad.

Porque, al final, no importa de qué equipo seas.

Lo importante es sacar adelante a México. ●



El Estadio Azteca es el escenario en el que más partidos ha jugado la selección.



# TORNEO MEXICANO DE ROBÓTICA

José Martínez Carranza

PRESIDENTE DE LA FEDERACIÓN MEXICANA DE ROBÓTICA INVESTIGADOR TITULAR C EN EL INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA.



**D**el 16 al 18 de abril de 2026, se llevó a cabo el 17.º Torneo Mexicano de Robótica (TMR) organizado por la Federación Mexicana de Robótica (FMR) en colaboración con la Universidad Tecnológica Bilingüe Internacional y Sustentable de Puebla (UTBIS), en las instalaciones de la Capital de la Tecnología y Sostenibilidad, en San José Chiapa, en el Estado de Puebla. Como cada año, el TMR se conforma de un número de categorías de competencias robóticas donde los participantes presentan sus propuestas de robots autónomos para enfrentar los retos planteados en cada categoría.

En esta ocasión, el TMR 2026 incluyó 22 categorías distribuidas en cinco sedes de la Capital de la Tecnología. El Centro

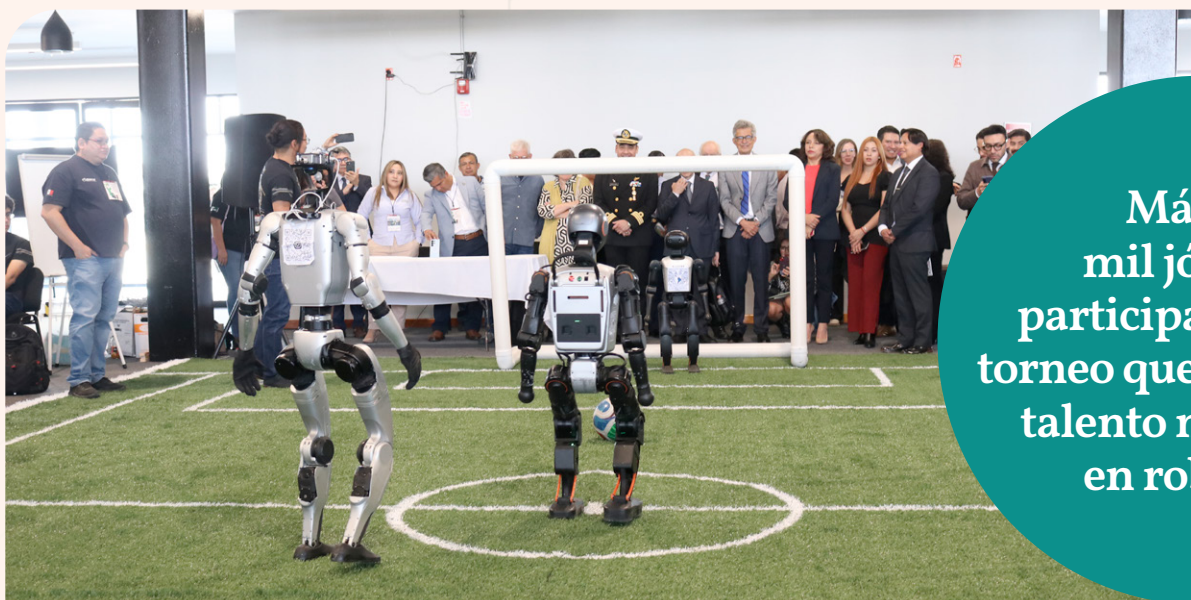
de Convenciones albergó competencias de robots futbolistas, robots de servicio @ home (Beginners y Major), drones autónomos, vehículos autónomos miniatura (AutoModel Car), Humanoides Adult Size y Kid Size, LARC Very Small Size Soccer y RoboCup Soccer Junior (Vision & Infrared). Cabe destacar que las categorías de RoboCup Soccer Junior sirvieron de inspiración para la creación del Certamen Nacional Copa FutBotMX, organizado por el Gobierno de México a través de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, con la colaboración de la FMR como institución coorganizadora. Además, el TMR fue reconocido como una de las sedes oficiales de FutBotMX, integrándose a la iniciativa Mundial Social 2026 impulsada también por el Gobierno de México.

En la laguna de la capital, se llevó a cabo la categoría de robots limpiadores acuáticos, la cual volvió al TMR después de casi 13 años de no realizarse. Esta categoría está inspirada en el desarrollo de robots que puedan flotar de manera autónoma, mientras realizan la recolección de elementos contaminantes en el agua, como podría ser el sargazo.

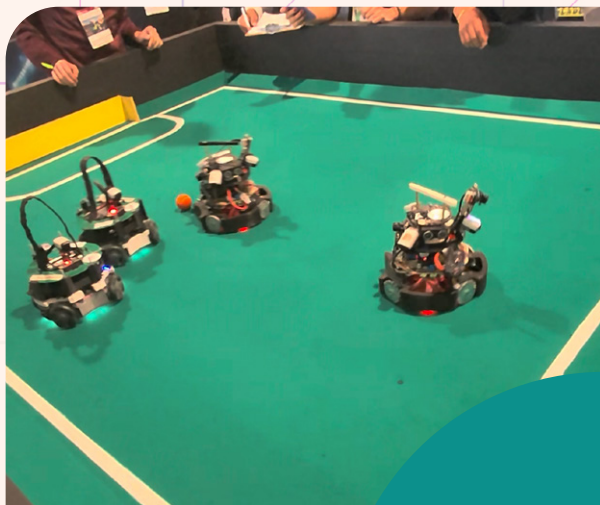
En las instalaciones de la UTBIS se realizaron las categorías de Robots Limpiadores de Playa y Rovers Lunares. Por otra parte, en el Centro de Innovación e Integración de Tecnologías Avanzadas Unidad Puebla (CIITA) del Instituto Politécnico Nacional, se hospedaron las categorías del LARC Maze, LARC Line y Primary Line, y RoboCup Junior OnStage y OnStage Primary, categorías que reciben a los competidores más jóvenes con edades desde los 6 años. En las instalaciones de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, se realizaron dos categorías:

Rapidly Manufactured Robot Challenge y RoboCup Rescue Robot.

El TMR 2026 recibió a 1133 participantes distribuidos en 208 equipos, provenientes de 16 estados de la república: Puebla, Nuevo León, Ciudad de México, Estado de México, Veracruz, Jalisco, Oaxaca, Querétaro, Tamaulipas, Coahuila,



Más de mil jóvenes participaron en el torneo que impulsa el talento mexicano en robótica.



## Robots futbolistas, drones y rovers lunares reunieron ciencia, innovación y vocaciones STEM.

Aguascalientes, Chiapas, Zacatecas, Tabasco, Campeche y Baja California Sur. El 49% de los competidores provenían de instituciones de educación superior, 25 % de educación media superior, 8 % de secundarias y el 18 % de otras instituciones como clubes, empresas y otros centros educativos. El 78 % de los participantes correspondió al género masculino y el 22 % al género femenino. El acceso para el público en general fue gratuito y se contó con una asistencia de 1679 asistentes. El TMR 2026 contó con grupo de organizadores que van desde estudiantes voluntarios, responsables de categoría, comité organizador local, comité por parte de la FMR, directivos e invitados especiales, que sumó un total de 230 personas. Merece especial atención mencionar que se contó con la participación de 6 elementos miembros del Centro de Mantenimiento en Optoelectrónica de la Secretaría de Marina, ubicado en la Capital de la Tecnología, que participaron como jueces en las categorías de Drones Autónomos, Rovers Lunares y Limpiadores Acuáticos. De este modo, se contabilizó una asistencia total de 3116 personas.

Además de las competencias en 22 categorías, el TMR 2026 incluyó ponencias

magistrales y un panel. El jueves 16 se presentó el Prof. Raúl Rojas González, de la Universidad Libre de Berlín y la Universidad de Nevada Reno, con la charla “La (r)evolución reciente de la Inteligencia Artificial”. El viernes 17, día cultural del torneo, participaron el escultor Miguel Peraza con “Proyecto Génesis 4D”, el Arq.

Fernando Michel con “Robots Japoneses de la Posguerra” y el Dr.

Jordi Aguiló Llobet con “ILA 9200, iniciando un futuro de colaboración”. El sábado se realizó el panel “FMR: Dos décadas fomentando la robótica en México”, que reunió al Presidente actual y a 7 expresidentes de la FMR.

Como cada año, el TMR es un evento nacional que funge como preámbulo

para competencias internacionales. De sus 22 categorías, 17 están vinculadas a torneos fuera de México. Las siete categorías alineadas con RoboCup Junior clasifican a la RoboCup Competition 2026 en Incheon, Corea del Sur. Además, la RoboCup Federation reconoció nuevamente al TMR como “RoboCup Mexican Open”, distinción que posiciona a México como

referente internacional en robótica e inteligencia artificial, fortaleciendo la proyección del talento mexicano, la colaboración académica y científica, y el impulso a las vocaciones STEM.

Otras categorías, como LARC Open, LARC SEK y LARC VSSS, están asociadas al IEEE Latin American Robotics Competition. Asimismo, el primer lugar en Drones Autónomos clasifica al IMAV 2026 en Estrasburgo, Francia.

El TMR 2026 contó con apoyo de la SECIHTI Puebla y acompañamiento de la SECIHTI Federal. La empresa SanDo Robotics otorgó 22 kits de robótica a los segundos lugares y playeras a los terceros. Además, se gestionaron apoyos económicos para que los primeros lugares asistan a competencias internacionales y para que las menciones especiales adquieran componentes para sus robots.

La FMR, asociación civil sin fines de lucro integrada por académicos y especialistas, ha promovido por casi dos décadas las vocaciones tempranas en robótica. Aunque coordina el TMR, su éxito depende del trabajo conjunto de directivos, profesores, voluntarios y participantes, con el objetivo de impulsar el talento y el desarrollo científico y tecnológico de México. ●





# LONGEVIDAD DEPORTIVA. EL CUERPO QUE SOSTIENE EL JUEGO

Carlos Suárez Ahedo

ORTOPEDISTA ESPECIALISTA EN CIRUGÍA DE CADERA Y RODILLA

**M**i día a día no transcurre sólo entre quirófanos y radiografías; transcurre entre las metas y los miedos de atletas que ven en sus articulaciones el motor de su existencia. En el fútbol contemporáneo, la velocidad y la intensidad han dejado de ser variables para convertirse en constantes implacables. Hoy, la verdadera ventaja competitiva no es solo quién corre más rápido o quién tiene más técnica, sino quién logra sostener ese rendimiento a través de las décadas.

La longevidad deportiva ha dejado de ser un concepto etéreo para convertirse en una disciplina científica rigurosa. En mi práctica, entiendo el cuerpo del futbolista como un sistema de alta precisión donde la cadera funciona como el eje central de rotación y la rodilla como el punto crítico de estabilidad. Si una de estas piezas falla, el destino del movimiento y de la carrera profesional se ve comprometido.

Para dimensionar el reto al que nos enfrentamos en nuestro país, es fundamental observar las estadísticas. Según datos de la Dirección de Medicina del Deporte de la UNAM, en modalidades de alta intensidad como el fútbol, el 80% de las lesiones ocurren en los miembros pélvicos (piernas), siendo la rodilla y el tobillo los puntos de mayor vulnerabilidad.

La realidad del futbolista profesional es de una exigencia estadística abrumadora. De acuerdo con registros del



Barça Innovation Hub (referente internacional utilizado en protocolos de la Liga MX), un equipo con 25 jugadores sufre una media de 50 lesiones por temporada, lo que significa que cada atleta enfrenta, estadísticamente, dos lesiones anuales. En México, estudios epidemiológicos publicados en el portal especializado Medigraphic señalan que la incidencia en competencia puede alcanzar las 8.97 lesiones por cada 100 horas de exposición, una cifra que subraya por qué la prevención no es un lujo, sino una estrategia de supervivencia profesional.

Antiguamente, la cirugía se percibía como el final del camino o una medida desesperada. Hoy, gracias a los avances en cirugía preservadora y reconstrucción articular, el enfoque ha dado un giro de 180 grados. Ya no solo buscamos "reparar"; buscamos optimizar la biomecánica para prolongar la vida útil de la articulación.

**La ciencia de la cadera y la rodilla hoy define la longevidad de los futbolistas de élite.**

## En el fútbol moderno, prevenir lesiones es tan decisivo como entrenar velocidad o táctica.



La identificación temprana de desequilibrios musculares y alteraciones mínimas en la cadera (como el pinzamiento femoroacetabular) nos permite intervenir antes de que el daño sea irreversible. En México, instituciones como el IMSS y diversas clínicas de alta especialidad han reportado un incremento en el éxito de cirugías de mínima invasión, las cuales permiten que un paciente pueda iniciar su movilidad apenas seis horas después del procedimiento, integrándose a protocolos de rehabilitación avanzada en tiempos récord de 3 a 6 semanas para casos no complejos.

La longevidad deportiva es, en última instancia, una carrera de resistencia contra el desgaste natural. Para el atleta de élite, entender su cuerpo como un sistema que requiere mantenimiento preventivo es tan crucial como su dieta o su entrenamiento táctico.

Como especialistas, nuestra misión es que el fútbol del futuro se juegue con el conocimiento profundo de la anatomía. Porque antes del gol, antes de la gloria y antes de la táctica, existe un pilar fundamental: un cuerpo que resiste se adapta y evoluciona. La ciencia aplicada a la cadera y la rodilla es hoy el seguro de vida de los grandes talentos en la cancha. 🏆

### Fuentes:

Dirección de Medicina del Deporte, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Epidemiología de las lesiones en el fútbol, Medigraphic (Literatura Biomédica).

Análisis epidemiológico del Barça Innovation Hub (Protocolos de referencia internacional).

Módulo de Práctica Deportiva (MO-PRADEF), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).



# LA MATEMÁTICA DEL PENALTI

Francisco González Acuña

Un penalti concentra teoría de juegos, intuición y cálculo en apenas once metros de distancia.



**H**ay momentos en el fútbol donde todo parece detenerse. El estadio entero contiene la respiración, el portero se mueve sobre la línea y un jugador acomoda el balón a once metros de distancia. El penalti dura segundos, pero en ese instante se cruzan tensión, memoria, intuición y cálculo. Durante años se habló de “instinto”, de “leer al rival”, de sangre fría. Sin embargo, detrás de ese momento hay algo más: un problema matemático extraordinariamente complejo.

Peter Handke lo describió muy bien en *\*La angustia del portero ante el penalti\**.

El portero intenta anticipar hacia dónde tirará el delantero. Pero el delantero sabe que el portero está pensando eso. Entonces cambia de dirección. Aunque también sabe que el portero podría imaginar ese cambio. El razonamiento parece infinito. Y justamente ahí aparece uno de los principios fundamentales de la teoría de juegos: tomar decisiones considerando que la otra persona también está pensando estratégicamente.

La teoría de juegos, desarrollada por autores como John Nash, Reinhard Selten y John Harsanyi —Premio Nobel de Economía en 1994—, estudia situaciones donde el resultado depende de las decisiones simultáneas de varias personas. Se utiliza para analizar mercados, negociaciones internacionales, campañas políticas y conflictos militares. El fútbol, aunque parezca lejano a todo eso, ofrece uno de los ejemplos más claros.

Junto con Alejandro González Romero analizamos los 43 penaltis cobrados durante el Mundial de México 1986. El objetivo era entender si existían estrategias óptimas para el tirador y el portero.



	Portero: lado natural	Portero: centro	Portero: lado no natural
Tiro al lado natural	0.572	0.700	0.840
Tiro al centro	0.975	0.337	0.775
Tiro al lado no natural	0.900	0.733	0.660

La matemática demuestra que en los penaltis la imprevisibilidad puede vencer a la fuerza.



El problema inicial era evidente: cuarenta y tres penaltis eran pocos para construir probabilidades confiables. Para resolverlo desarrollamos una técnica de “triplificación”. Cada tiro fue revisado cuadro por cuadro y desde distintos ángulos para estimar qué habría ocurrido si el portero hubiera tomado cualquiera de las otras dos

decisiones posibles. Así, los 43 penaltis originales se convirtieron en 129 escenarios analizados.

Con esa información construimos una matriz de probabilidades. Cada casilla muestra qué porcentaje de veces termina en gol dependiendo de la decisión del tirador y del movimiento del portero.

Para un jugador diestro, el lado natural es su derecha; para un zurdo, su izquierda.

La tabla revela algo interesante: la mejor estrategia no consiste en repetir siempre el mismo disparo ni en intentar “engañar” intuitivamente al rival. La clave está en evitar patrones predecibles. Si un cobrador repite demasiado una dirección, el portero termina aprendiendo esa tendencia.

En otras palabras, la matemática sugiere que la imprevisibilidad bien distribuida puede ser más efectiva que la costumbre.

Años después decidimos llevar el problema fuera del video y convertirlo en un experimento controlado. Entre 1996 y 1998 trabajamos con jugadores de Pumas y Toluca, entre ellos el portero Víctor Guevara y el delantero Alejandro Hernández. Se ejecutaron más

de mil penaltis bajo estrategias específicas previamente acordadas. Antes de cada disparo, los jugadores marcaban en una hoja exactamente a qué punto pensaban tirar.

Los resultados volvieron a romper varias intuiciones futboleras. Algunos tiros lentos y colocados resultaron más efectivos que disparos potentes. La velocidad no siempre gana. La precisión, la distribución estratégica y la capacidad de variar decisiones importan tanto como la fuerza.

Hoy las matemáticas atraviesan prácticamente todo el fútbol profesional. Los clubes analizan recorridos, desgaste físico, probabilidades de pase, posicionamientos y patrones de juego utilizando modelos estadísticos cada vez más sofisticados. Lo interesante es que el fútbol sigue emocionando exactamente igual. Las ecuaciones no le quitan misterio al juego; ayudan a entender por qué ciertos momentos producen tanta tensión.

Quizá por eso el penalti sigue siendo tan fascinante. Parece un instante simple: un jugador, un balón y once metros de distancia. Pero dentro de esos once metros caben teoría de juegos, probabilidad, psicología, estadística y décadas enteras de investigación matemática. ●



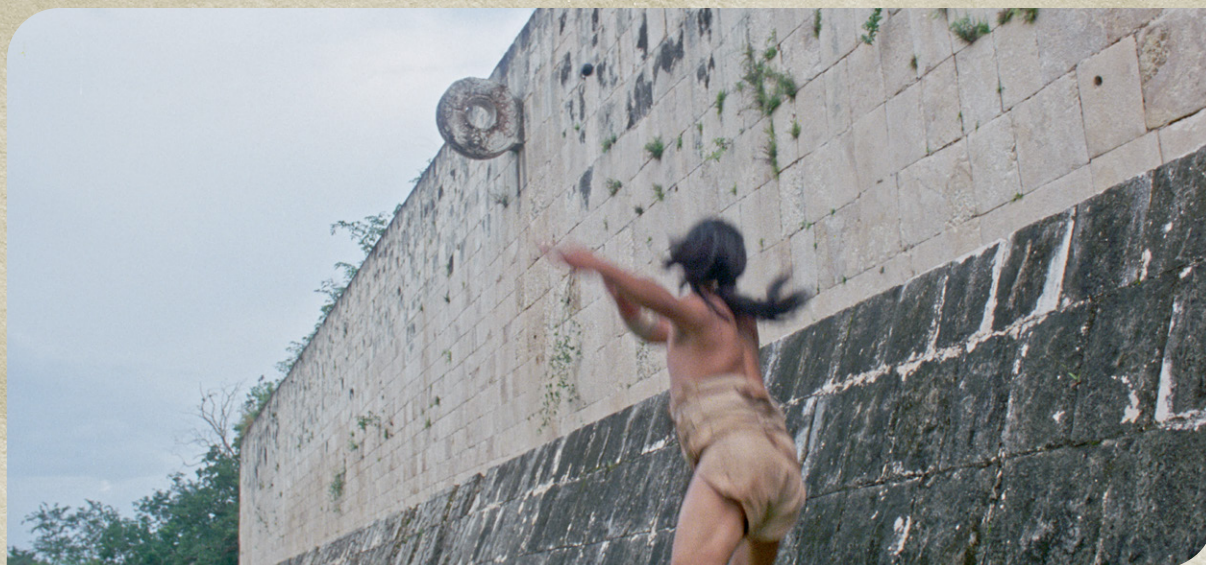


# ROBERTO ROCHÍN: ENTRE LO ANCESTRAL Y LO CONTEMPORÁNEO DEL JUEGO SAGRADO

Por Diciembre Aguilar

**H**ay juegos que no terminan cuando cae la tarde. Permanecen en el cuerpo, en la memoria de los pueblos y en la manera en que una civilización entiende el movimiento del mundo. Para el cineasta mexicano Roberto Rochín, el ulama no es sólo una herencia del pasado: es una tradición viva y una de las expresiones más antiguas de la relación entre cuerpo, rito, ciencia y cultura.

Su película *Ulama: El juego de la vida y la muerte* se convirtió en un referente del cine documental e histórico en México. Ganadora de cinco Premios Ariel en 1988 —incluidos Mejor Ópera Prima y Mejor Largometraje Documental— y de la Diosa de Plata a Mejor Ópera Prima, la obra abrió una conversación profunda sobre el juego de pelota mesoamericano. También se presentó en la Expo Mundial de Hannover en 2000 y en el Museo Metropolitano de Nueva York en 2003. Detrás hubo ocho años de investi-



gación y filmación dedicados a recrear los orígenes prehispánicos de una práctica que nunca dejó de jugarse.

Rochín parte de una idea esencial: la cultura también nace del juego. Su película se apoya en la teoría del *Homo Ludens* de Johan Huizinga, que plantea que la civilización humana se desarrolla a partir de la capacidad de jugar. Desde ahí, el ulama aparece no como entretenimiento, sino como una estructura simbólica de conocimiento. “El juego de pelota es un elemento esencial de cómo los pueblos mesoamericanos estructuraban su entendimiento de la realidad”, explica.

En esa visión, la pelota no sólo rebo-

ta: inaugura el tiempo. Rochín relaciona el movimiento de la bola de hule con el *Ollin*, “el elemento iniciático del mundo, lo que pone en marcha el tiempo”. Con más de 3,500 años de antigüedad, el juego sobrevivió a procesos violentos de transformación histórica y permaneció en el sur de Sinaloa como una práctica viva. Esa continuidad es una revelación: hay memorias que no se conservan en vitrinas, sino en cuerpos que siguen jugando.

La dualidad atraviesa toda la película. Luz y oscuridad, día y noche, calor y frío, vida y muerte: fuerzas opuestas que encuentran equilibrio en el rito del *Ule-Oli*. Mantener la pelota en movimiento era

**El ulama sobrevivió siglos como una memoria viva donde cuerpo, rito y movimiento crean conocimiento.**

una manera de simbolizar el balance del universo. El principio del *Ollin*, dice Rochín, era “la esencia de la cosmogonía; del orden de las cosas”.

Documentar una tradición viva implicó asumir una postura. Rochín reconoce que todo cineasta interviene, porque siempre existe un punto de vista. En su caso, esa mirada tuvo una tesis clara: demostrar que el ulama de cadera practicado por los últimos jugadores de Sinaloa es el auténtico descendiente del juego original. Para sostenerlo, realizó referencias cruzadas con restos arqueológicos, arte prehispánico, crónicas históricas y estudios especializados. También introdujo recreaciones de mitos y leyendas, haciendo que los propios jugadores actuaran “esta especie de vuelta al pasado mitológico”.

La dimensión científica del ulama aparece con fuerza en los detalles. Rochín identifica siete marcadores comunes en las canchas, desde el *taste* utilizado en Sinaloa —proveniente del náhuatl *tlachtli*— hasta las grandes canchas de Chichén Itzá, Copán, El Tajín o Xochicalco. También encuentra en la indumentaria de los jugadores —el fajado, la gamuza o *maxtlatl*, la faja, el *chimalli* y los protectores— rastros de una tecnología del cuerpo.

La película permitió reproducir la mecánica del juego en una cancha prehispánica en Yagul, Oaxaca, comprobando el uso de paredes y elementos arquitectónicos antiguos. En este punto, el ulama se revela como una forma temprana de ciencia del deporte: biomecánica, equilibrio, resistencia física, movimiento de la cadera y relación entre cuerpo, espacio y materia.

El hule ocupa un lugar central. El “ule”, látex natural indispensable para la práctica del juego, es un polímero con la propiedad de rebotar. Rochín recuerda que este material maravilló a los primeros exploradores europeos, pues era desconocido fuera del continente americano.

El momento más revelador para Rochín ocurrió desde el primer contacto con

## Para los pueblos mesoamericanos, mantener la pelota en juego simbolizaba el equilibrio del universo.



el juego. “Me impresionó mucho e imaginé las posibilidades que tenía de realización al constatar la conexión con el pasado ancestral”, recuerda. Ese asombro creció al descubrir errores y zonas poco estudiadas. El proyecto también creció visualmente: de un formato inicial en 16 mm pasó a 35 mm. “La imagen tenía que hacer justicia a la importancia del juego”, afirma.

El cine tuvo efectos concretos: los jugadores recuperaron el orgullo de ser portadores de una tradición milenaria, se revaloró la identidad cultural y la película ayudó a impulsar la práctica más allá de Sinaloa. La recuperación de la manufactura del *ule* permitió fabricar más pelotas y repartirlas entre comunidades, favoreciendo la preservación del juego hasta nuestros días.

Frente a las nuevas generaciones, Rochín sabe que la memoria necesita nuevos lenguajes. Por eso ha desarrollado aplicaciones móviles y experiencias interactivas con Kinect para popularizar el juego. La curiosidad de los jóvenes confirma que el ulama también puede dialogar con la tecnología y la educación.

El cineasta hace una precisión fundamental: sería un error afirmar que el juego de pelota mesoamericano es el origen directo del fútbol moderno. La historia del fútbol es un gran rompecabezas cultural construido por distintas civilizaciones. Sin embargo, el ulama sí puede entenderse como una de las primeras expresiones organizadas del deporte: equipos, canchas delimitadas, reglas, puntuación, indumentaria especializada y una profunda dimensión social, ritual y estratégica.

Para Obsidiana, Rochín deja una invitación clara: mirar el ulama no sólo como tradición ancestral, sino como una expresión compleja de la ciencia del movimiento. Su preservación no es nostalgia; es una forma de comprender cómo el cuerpo, la materia, el espacio y el símbolo construyeron conocimiento mucho antes de que lo llamáramos ciencia. ©



AMORFO

# LA CIENCIA DE LA CELEBRACIÓN: CERVEZA, FÚTBOL Y EL ALGORITMO EMOCIONAL DEL GOL

Por Diciembre Aguilar



**E**l gol todavía no cae y alguien ya está sosteniendo una cerveza ya sea en la tribuna de un estadio, alrededor de una mesa con amigos o frente a la televisión de una casa. La escena se repite desde hace generaciones y forma parte del paisaje habitual del fútbol, aunque pocas veces nos detenemos a pensar por qué esta bebida terminó ocupando un lugar tan importante en uno de

La cerveza forma parte del ritual emocional del fútbol porque acompaña tanto las victorias como las derrotas.

los espectáculos deportivos más populares del planeta.

Para Ana Romero, primera maestra cervecera de México, la respuesta no está únicamente en la tradición, tiene que ver con la manera en que percibimos los sabores y aromas, con la historia compartida entre aficionados y, sobre todo, con la capacidad que tiene la cerveza para acompañar momentos que rara vez se viven en solitario.

Cuando llegó a la industria cervecera en 1991, recién egresada de Ingeniería Química por la UNAM, las mujeres prácticamente no tenían acceso a puestos operativos en las grandes cervecerías del país. Su oportunidad apareció en un laboratorio de control de calidad de la Ciudad de México, donde comenzó realizando análisis químicos y terminó involucrándose en todas las etapas de producción, con los años profundizó en el estudio de materias primas, procesos de elaboración, desarrollo de productos e innovación tecnológica, una trayectoria que la llevó a convertirse en la primera maestra cervecera de la industria mexicana.

Esa experiencia le permitió descubrir que elaborar

cerveza va mucho más allá de seguir una receta, claro la química es fundamental, pero también lo es la capacidad de reconocer aromas, sabores, texturas y matices para transformarlos en una bebida que conecte con quien la consume. “El verdadero dominio requiere curiosidad, creatividad, paciencia y respeto por las materias primas”, explica, cada lote representa una





basta pensar en la variedad de cheladas preparadas con limón, sal, chile, clamato o frutas para entender cómo una misma bebida puede adaptarse a gustos y costumbres diferentes.

La relación con el fútbol comenzó mucho antes de los grandes contratos publicitarios, desde los primeros años del fútbol moderno en Inglaterra los aficionados acostumbraban reunirse en los pubs antes y después de los partidos. La costumbre viajó con el deporte y terminó arraigándose en numerosos países, donde ver un encuentro acompañado de una cerveza se convirtió en una práctica habitual. Con el tiempo llegaron los patrocinios, las campañas de mercadotecnia y los estadios repletos de marcas cerveceras, pero la conexión ya existía porque respondía a una forma de convivencia que se había construido durante décadas.

También hay razones que se encuentran en la propia naturaleza de la cerveza, su alto contenido de agua, la carbonatación generada durante la fermentación y la diversidad de perfiles sensoriales contribuyen a esa sensación de frescura que muchas personas buscan al seguir un partido, especialmente en espacios abiertos o climas cálidos.

Ana Romero considera que incluso sería posible pensar en cervezas para distintas etapas de un partido, una ligera y refrescante para el inicio, cuando predominan la expectativa y la sed; perfiles más cítricos y amargos para los momentos de tensión; o estilos con mayor cuerpo y complejidad aromática para la celebración posterior. La ciencia sensorial y los estudios de percepción del consumidor permiten comprender cómo determinadas características influyen en



oportunidad de aprender algo nuevo y de entender mejor lo que busca el consumidor.

Quizá por eso la cerveza ha conservado un lugar tan importante en la vida social, a diferencia de otras bebidas alcohólicas, suele tener una graduación moderada, existe una enorme diversidad de estilos y puede acompañar situaciones muy distintas: está presente en reuniones familiares, conciertos, celebraciones y eventos deportivos. En México, además, adquirió formas propias de consumo:

**Detrás de una  
cerveza hay ciencia,  
creatividad, disciplina  
y una profunda  
comprensión de los  
sentidos**

el disfrute y en las emociones asociadas al consumo.

Un partido se recuerda por un gol inesperado, una remontada improbable o una atajada decisiva, pero también por lo que ocurre alrededor como la discusión sobre una jugada polémica, el brindis espontáneo después de una anotación.

Para Ana Romero, la cerveza forma parte de ese ritual porque acompaña la euforia de una victoria, ayuda a sobrellevar una derrota y crea un lenguaje común entre personas que quizá no se conocen, pero que durante noventa minutos comparten la misma pasión.

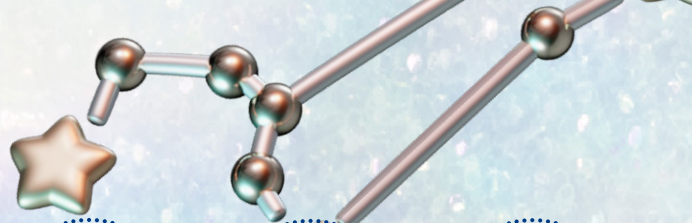
Si tuviera que diseñar una cerveza inspirada en un gol, imagina una lager dorada y brillante, con alta carbonatación, aromas cítricos intensos, amargor moderado y un balance que invite a seguir brindando. Una cerveza capaz de transmitir energía, expectativa y celebración, tan refrescante como el alivio que llega cuando el balón finalmente cruza la línea de meta. ☺



INTRUSIÓN

# CONSTELACIONES Y SUPERNOVAS

## Exposición internacional de Arte y Ciencias



Katherine Wong  
(Peace KAT)



Ivonne  
Kennedy



José Franco

ARTISTAS PLÁSTICAS DEL  
COLECTIVO GUENDA

INSTITUTO DE  
ASTRONOMÍA, UNAM

**L**a exposición *Constelaciones y Supernovas*, una luminosa colección de 18 obras inspiradas en el Sloan Digital Sky Survey (SDSS), surge del encuentro entre el Colectivo Arte GUENDA y el Instituto de Astronomía de la UNAM. Las piezas, creadas por un colectivo intergeneracional de mujeres artistas con sede en Oaxaca, revelan distintas formas de mirar el cosmos: desde paisajes nocturnos y exploraciones fotográficas hasta bordados y composiciones construidas a partir de las texturas originales de las placas astronómicas que dieron origen al proyecto.

La idea nació cuando el Dr. Héctor Hernández Toledo prestó al colectivo unas placas de aluminio utilizadas en observaciones del SDSS para que las artistas desarrollaran obras a partir de ellas. Aquellas piezas perforadas —fabricadas en la Universidad de Washington y usadas para conducir la luz mediante fibras ópticas hacia los detectores del telescopio— dejaron de ser únicamente instrumentos científicos para convertirse también en materia poética y visual.

El proyecto se consolidó tras diversos encuentros entre astrónomos y artistas en Oaxaca, donde participaron José Franco, Héctor Hernández, Omar López-Cruz y José Antonio Vázquez-Mata.

**Las piezas perforadas dejaron de ser instrumentos científicos para volverse materia poética y visual.**



Las artistas Ivonne Kennedy, Maia Furchtenicht, Peace Kat; Karla Nachmacher (Enlace de Asuntos Culturales del Consulado de México en Seattle) y José Franco.

De esos diálogos surgió una exploración común: entender que la ciencia y el arte no son territorios opuestos, sino procesos creativos capaces de observar el universo desde distintos lenguajes.

La exposición fue presentada inicialmente en el Hackathon NASA International Space Apps Challenge Oaxaca 2024 y

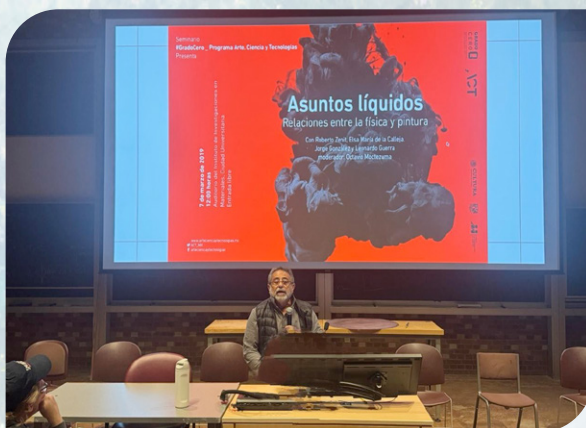
posteriormente en la Casa de la Cultura de Oaxaca, el Museo Palacio de la Autonomía de la UNAM y el Observatorio Astronómico Planetario Nundehui. Más recientemente, gracias a la invitación del Dr. Jim Davenport, viajó a la Universidad de Washington, en Seattle, donde se exhibió entre abril y mayo de 2026 con el apoyo de Amigos de UW, 4 Culture y el Consulado de México en Seattle.



La Dra. Sarah Tuttle, de la UW, con una de las placas de SDSS.



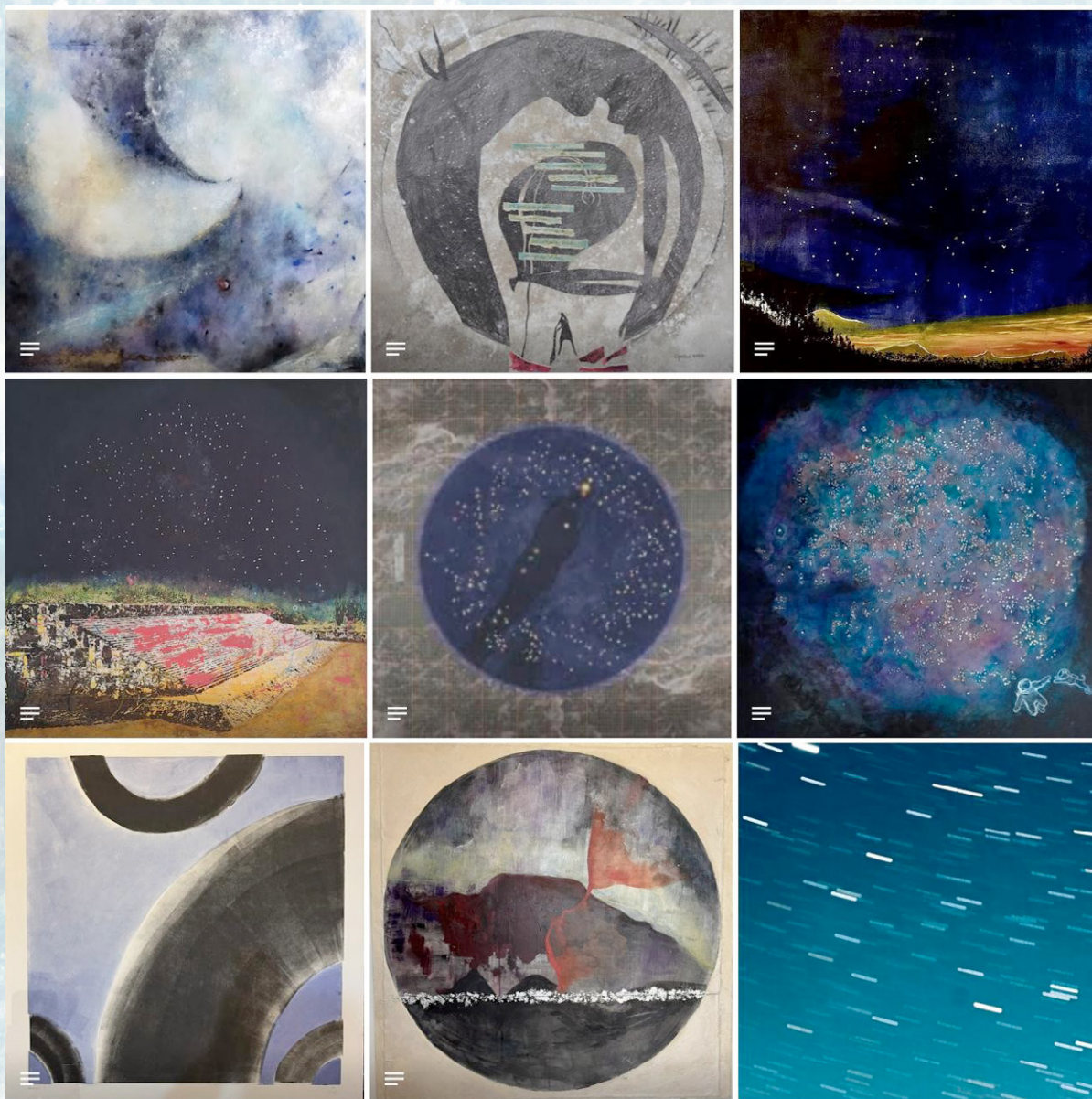
La presentación de Ranger Liu.



La presentación del Dr. José Franco de la UNAM.



Una de las visitas guiadas



Algunas de las obras de Constelaciones y Supernovas

Durante la inauguración, Ivonne Kennedy destacó que “hay mucha creatividad en la ciencia y también mucha ciencia en la creatividad”. Ranger Liu, directora de UW Planetarium Arts, señaló la importancia de crear espacios donde ambas disciplinas intercambien métodos, preguntas y formas de generar conocimiento. José Franco, director del programa ACT

**La muestra convierte datos astronómicos en bordados, paisajes y memorias compartidas del cosmos.**

del Instituto de Astronomía de la UNAM, subrayó la necesidad de construir comunidades donde científicos y artistas dialoguen de manera permanente. Más allá de las obras, *Constelaciones y Supernovas* propone mirar el universo no solo como un objeto de estudio, sino también como una experiencia sensible, humana y compartida. 🌌

# IRMA CUEVAS: EL ECO DE LA TRIBUNA

Por Diciembre Aguilar



**H**ay millones de personas que recuerdan exactamente dónde estaban durante un gol histórico. Sin embargo, la memoria es caprichosa: a veces no guarda la nitidez de la jugada, sino la textura de una voz, el eco de una frase o la tensión de un silencio absoluto en el instante preciso. El fútbol, antes que un espectáculo visual, es una experiencia que se expande por el oído.

En ese universo sonoro habita el trabajo de Irma Cuevas, periodista y comunicadora mexicana que

**Narrar un partido no es solo mencionar datos a gran velocidad; es un ejercicio de traducción neuroemocional.**

ha transformado la crónica deportiva en un espejo de la memoria colectiva. Su historia con el micrófono no empezó en las aulas universitarias, sino en los domingos de infancia. En su casa, la convivencia familiar se construía alrededor del aparato de radio, no hacía falta estar en la tribuna para sentir la vibración del juego; las voces de los pioneros encendían la imaginación y creaban un sentido de pertenencia inmediato.

El verdadero parteaguas llegó cuando Irma cruzó el túnel de los estadios emblemáticos, como el Olímpico Universita-





rio o el Azteca, ya no como espectadora, sino como reportera.

En un ecosistema históricamente dominado por hombres, ella consolidó su propio estilo sin perder la capacidad de asombro. Quienes la vieron trabajar en la cancha recuerdan un detalle distintivo: Irma siempre cargaba un pequeño radio de pilas. Mientras observaba el césped, escuchaba la transmisión oficial, esa doble mirada, el ojo en el balón y el oído en la frecuencia, le permitió entender la joya de la corona de su oficio: la ciencia de las emociones.

**En los partidos importa el ritmo, pero también los silencios para escuchar lo que ocurre en juego.**

Narrar un partido no es solo mencionar datos a gran velocidad; es un ejercicio de traducción neuroemocional. El cerebro humano responde con una potencia descomunal al estímulo de la voz, el timbre, las pausas y la velocidad activan la adrenalina de quien escucha en la soledad de un automóvil o en la cocina de su casa. Pero el gran secreto, confiesa Irma, no radica en saber hablar, sino en dominar el arte de callar.

"En los partidos es importante llevar un ritmo, pero también saber hacer pausas o silencios para escuchar lo que se vive en los juegos", explica. Cuando el cronista se silencia, el estadio habla. La respiración contenida antes de un penal o el rugido de la grada son elementos que ninguna inteligencia artificial puede interpretar con sensibilidad humana.

Frente a una época obsesionada con las pantallas inmediatas y las narrativas automatizadas, Irma defiende la radio como el refugio más noble y comunitario de la comunicación. En los rincones del país donde la señal digital no llega, el radio sigue uniendo generaciones.

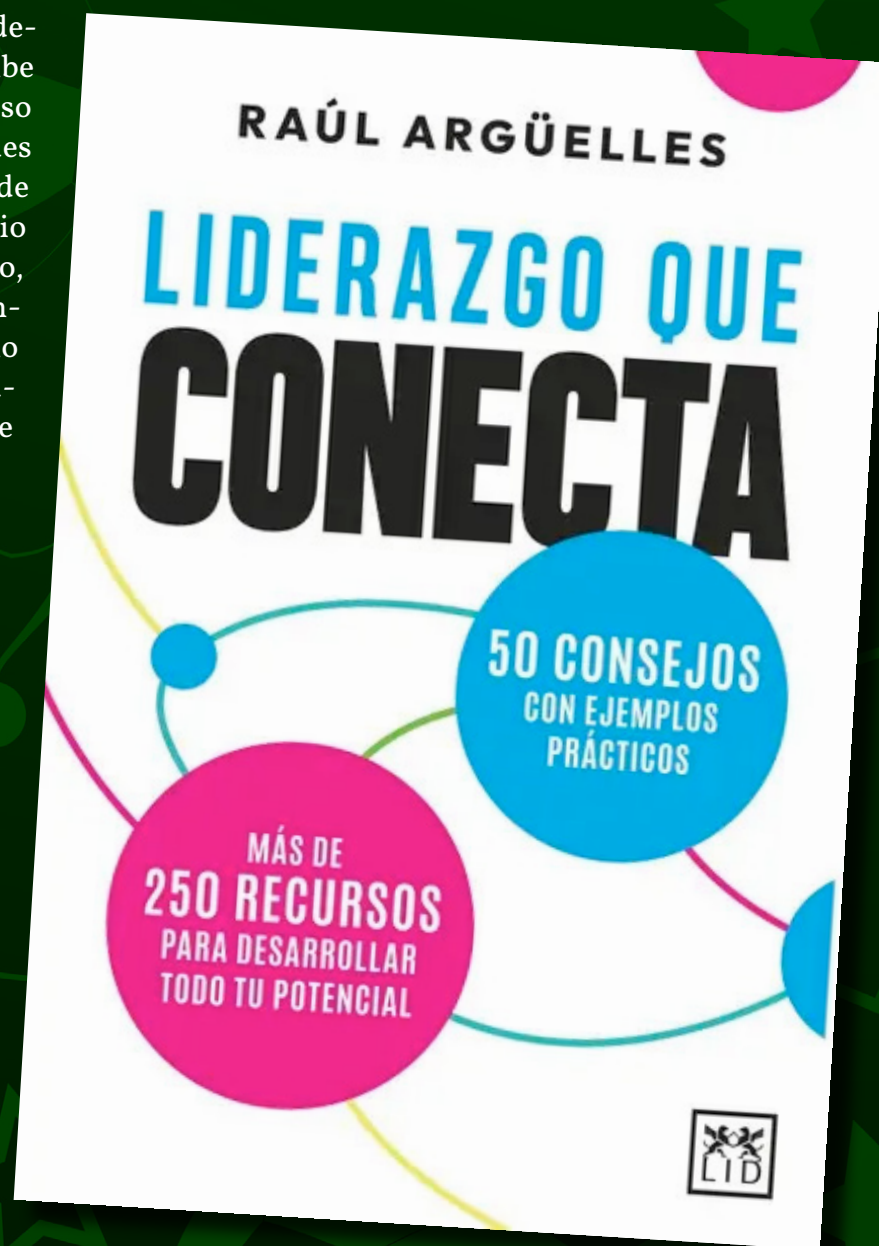
Al final, las voces que se quedan grabadas para siempre en la cultura popular no son las más perfectas, sino las más honestas. Irma Cuevas lo demuestra cada vez que se enciende la cabina: las máquinas pueden procesar jugadas, pero solo las personas son capaces de contar cómo se sintió vivirlas. ●





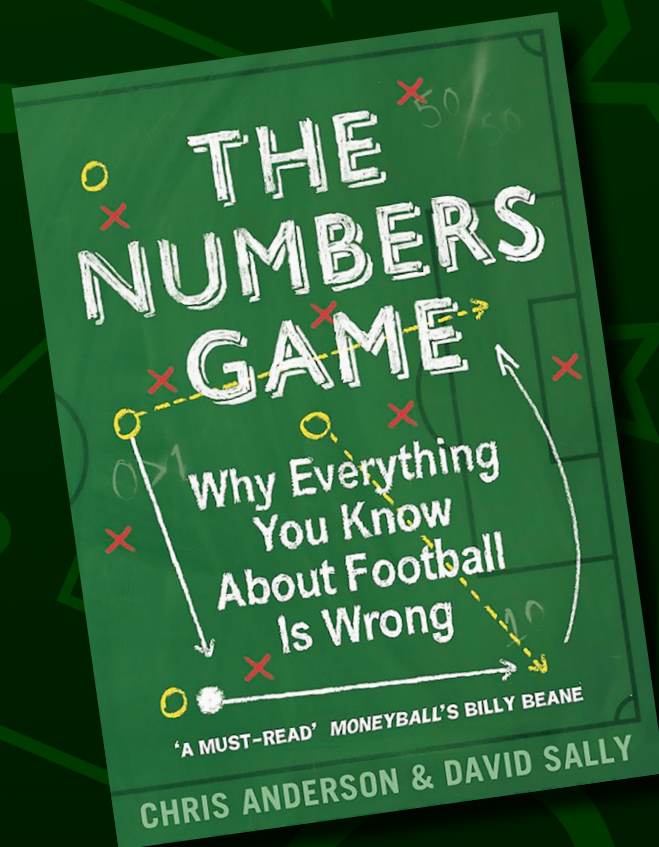
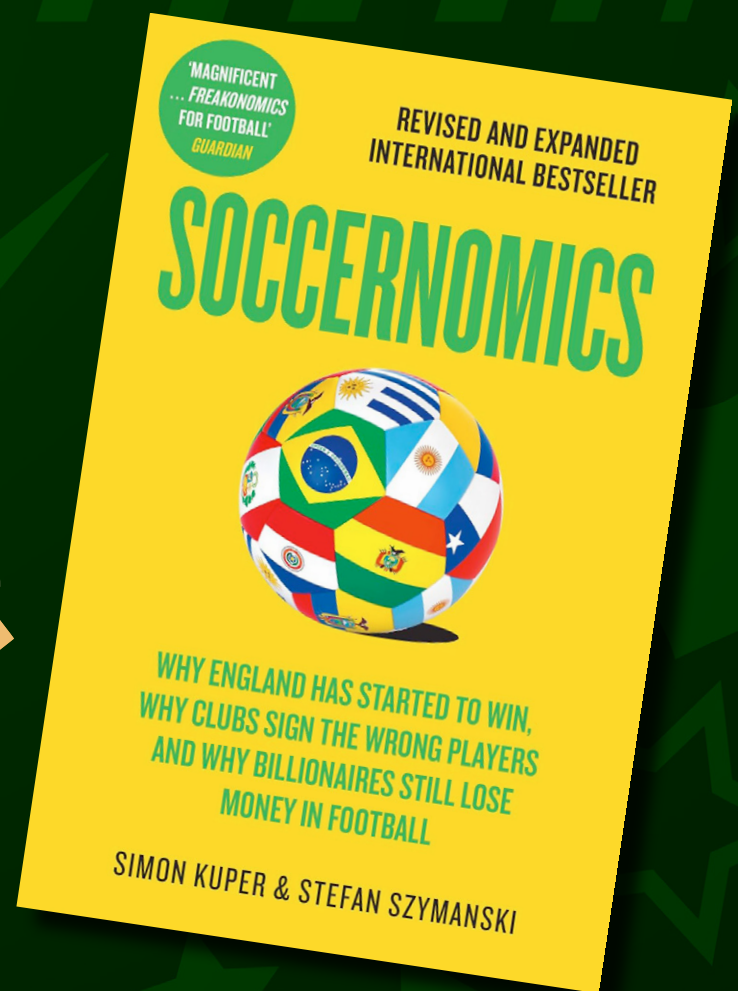
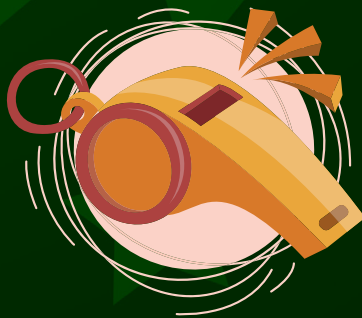
# LIDERAZGO QUE CONECTA, DE RAÚL ARGÜELLES

En el fútbol, como en la vida, los equipos que perduran no son siempre los más talentosos sino los más unidos. Raúl Argüelles, con décadas de experiencia en organizaciones como Walmart, Bancomext y Grupo Bimbo, lo tiene claro: lo que sostiene a un equipo bajo presión, cansancio e incertidumbre no es la táctica, es la confianza. En *Liderazgo que conecta*, propone que la diferencia entre un vestuario que se rompe y uno que se levanta después de perder está en la conexión emocional entre sus integrantes. Un líder auténtico no es el que aparenta perfección, sino el que sabe decir "me equivoqué" o "vamos a salir adelante juntos": la vulnerabilidad bien entendida, escribe Argüelles, genera cercanía y fortalece el compromiso colectivo. Su tesis central es poderosa: "los grandes líderes logran resultados con su gente, no a costa de ella". El fútbol, dice, es un laboratorio extraordinario sobre resiliencia, pertenencia y manejo del fracaso, lecciones que cualquier organización debería aprender. Porque al final, los campeones no se forjan solo en la cancha: se forjan en los pequeños gestos cotidianos, en la disciplina silenciosa y en la capacidad de hacer sentir a cada jugador que importa.



# SOCERNOMICS, DE SIMON KUPER Y STEFAN SZYMANSKI

Es probablemente el libro más influyente que se ha escrito sobre fútbol desde fuera de la cancha. Con herramientas de economía y estadística, los autores desmontan uno por uno los mitos que rodean al deporte: por qué ciertos países ganan más que otros, qué tan importante es realmente el dinero, o por qué algunos clubes toman decisiones que ningún modelo racional explicaría. No es un libro técnico, es una lectura accesible que cambia la forma de ver un partido. Imprescindible para quien quiera entender el fútbol más allá de la intuición.






# THE NUMBERS GAME, DE CHRIS ANDERSON Y DAVID SALLY



¿Cuánto vale realmente un gol? ¿Qué posición tiene más impacto en el resultado? ¿Qué tan decisivo es el entrenador? Anderson, científico de datos, y Sally, economista conductual, responden con evidencia lo que los comentaristas llevan décadas debatiendo con opiniones. Es el libro que introdujo al público general conceptos como los goles esperados, hoy lenguaje común en cualquier transmisión. Una lectura que hace exactamente lo que su título promete: ponerle números al juego.



[www.obsidianadigital.mx](http://www.obsidianadigital.mx)

 @Obsidianamx  @obsidiana\_mex  @obsidiana\_mex