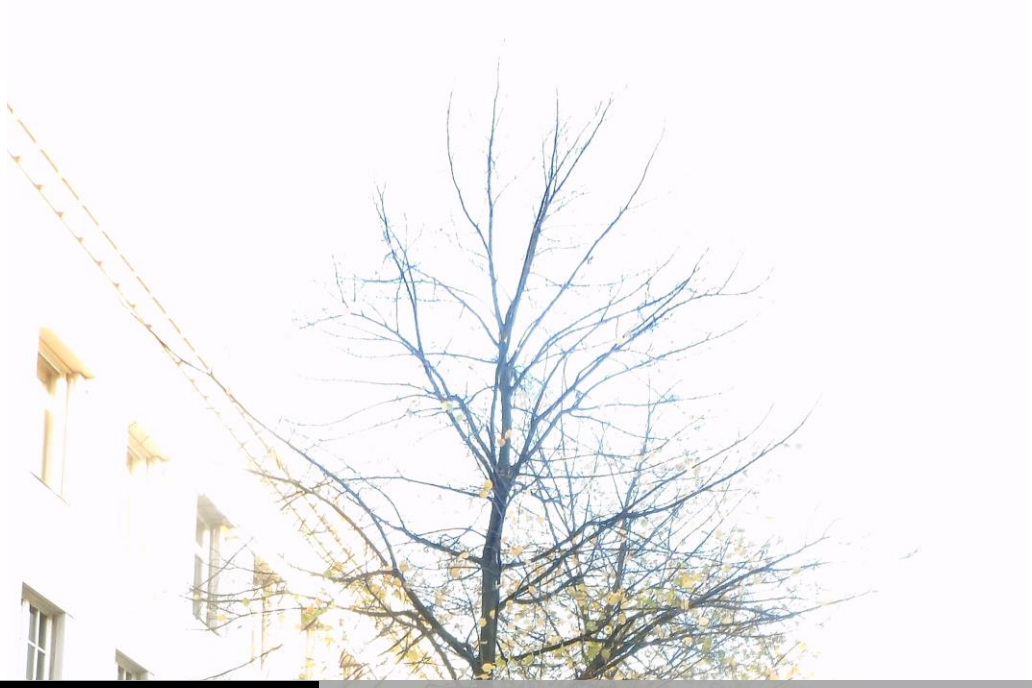
30-06-2017



DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL

La revista electrónica de COLINNOVACIÓN, tiene el compromiso de informar sobre la actualidad de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación en Colombia.

Revista Electrónica | COLINNOVACION SAS

INNOVACION

I Tabla de contenido

DESARROLLO DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS BASADOS EN LA INNOVACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO 4

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS: DESCRIPCIONES GENERALES Y APLICACIONES 11

USO DE LA TECNOLOGIA EN EL DEPORTE 17

DIRECTOR
Gabriel Alberto Zamudio

EDITOR
Julian Andres Zamudio

CONSEJO EDITORIAL
Hermann Fuquen
Juan Carlos Salavarrieta
Claudia Sánchez

IMPRESIÓN - WEB
COLINNOVACIÓN SAS.

COMUNICACIÓN
colinnovacion@gmail.com
contacto@colinnovacion.com

Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial
Edición 6 – Volumen I
ISSN 2322-8725

DESARROLLO DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS BASADOS EN LA INNOVACIÓN EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO

Hermann Fuquen Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

Resumen — La industria farmacéutica se caracteriza por su fuerte apuesta al desarrollo de productos innovadores basados tradicionalmente en investigación básica y laboratorios propios de investigación y desarrollo (I+D). Sin embargo, esta concepción de desarrollo de productos farmacéuticos innovadores basados en laboratorios de I+D propios está cambiando y ahora se requiere de esquemas mucho más colaborativos entre empresas, universidades y gobierno. Las empresas farmacéuticas en países desarrollados han venido cambiando el esquema de desarrollo de productos los cuales han reducido el desarrollo propio de medicamentos basados en laboratorios de I+D debido a los altos costos de esta actividad, por tanto, solo las empresas con grandes capacidades de inversión siguen manteniendo el esquema de investigación y desarrollo centrado en la generación de medicamentos completamente innovadores. Es por esto que la innovación de empresas farmacéuticas en países en vías de desarrollo cambia su enfoque al centrarse en la optimización de procesos, la adaptación de medicamentos a la idiosincrasia y características de la población que atiende, reformulación de medicamentos y la generación de capacidades para la producción de materias primas. Todo esto estará permitiendo disminuir la dependencia tecnológica y las importaciones de productos e insumos. En este artículo se identifican y resumen los esfuerzos en innovación realizados por empresas farmacéuticas en países en vías de desarrollo, se revisan las tendencias del mercado y se propone una conclusión final.

Palabras Clave — Medicamentos, Bioequivalencia, Adaptación Poblacional, Investigación y Desarrollo (I+D).

1. INTRODUCCIÓN

La industria farmacéutica se caracteriza por ser uno de los sectores que más invierte en investigación y desarrollo (I+D) y ser un usuario activo de los sistemas de propiedad intelectual a través de la generación de patentes, con las cuales protege sus invenciones respecto al desarrollo de nuevas moléculas que se traducen en medicamentos novedosos, convirtiéndola en una industria altamente innovadora y competitiva a nivel mundial.

Sin embargo, este alto nivel de desarrollo se centra en países desarrollados debido a las altas inversiones requeridas para establecer y mantener la investigación farmacéutica basada en Laboratorios de I+D dotada de tecnología de punta. De otra parte, la fuerte concentración de empresas multinacionales en la industria farmacéutica ha incentivado la I+D en grandes centros de investigación, que pocas veces se localizan en países en vías de desarrollo.

Por tanto, el reto de las empresas farmacéuticas nacionales o de carácter multi-latino se ha centrado en defender su posición competitiva al desarrollar también productos nuevos, pero sin invertir en grandes centros de I+D (Gallo, 2010). La innovación se centra por tanto en ofrecer nuevos productos adaptados a la población donde se localizan, implementando esfuerzos internos también en I+D que correspondan a la definición de una nueva molécula o una nueva asociación o concentración de componentes, manteniendo la mejor relación costo/beneficio debido a que aun cuando un producto similar exista en el mercado, las modificaciones que se le realizan al producto durante su desarrollo suelen ser significativas en cuanto a materiales, composiciones o empaque o en cuanto a la modificación de los procesos productivos, razón por la cual cada uno de esos cambios se considera un ciclo completo de desarrollo de producto.

Adicionalmente a los nuevos productos farmacéuticos que se desarrollan en la vía anteriormente descrita, se suman los productos farmacéuticos de reformulación, estos productos requerirán estudios de Preformulación que corresponderán a investigaciones de propiedades fisicoquímicas y bio-farmacéuticas de un principio activo solo o combinado con excipientes, con el objetivo de generar información útil para la etapa de formulación en el desarrollo de una forma de dosificación estable y biodisponible.

El presente artículo pretende evidenciar los esfuerzos de innovación que realizan empresas farmacéuticas nacionales y multi-latinas para adaptar sus procesos a los desafíos de mercado en que trabajan, identificando el tipo de innovación que estas se encuentran desarrollando. En la siguiente sección se hace un resumen conceptual del proceso de fabricación de productos farmacéuticos, las actividades de I+D e innovación que realizan las empresas farmacéuticas, se presenta una caracterización de la I+D de la industria farmacéutica en países en vías de desarrollo, se continua con una explicación sobre productos genéricos y su desarrollo, finalizando con las tendencias del mercado farmacéutico y se concluye con los hallazgos encontrados.

2. Fabricación De Productos Farmacéuticos

La fabricación de productos farmacéuticos se centra en una cadena de abastecimiento que va desde la proveeduría de materias primas, el desarrollo de excipientes, la formulación hasta el desarrollo del producto farmacéutico final y su proceso de distribución. La figura 1 muestra los procesos principales para el desarrollo de una molécula de ingredientes farmacéuticos activos que inician con la recepción y adecuación de materia prima, el proceso de síntesis, proceso de formulación (Proceso de fabricación), para obtener finalmente el producto farmacéutico (Gernaey, 2012).

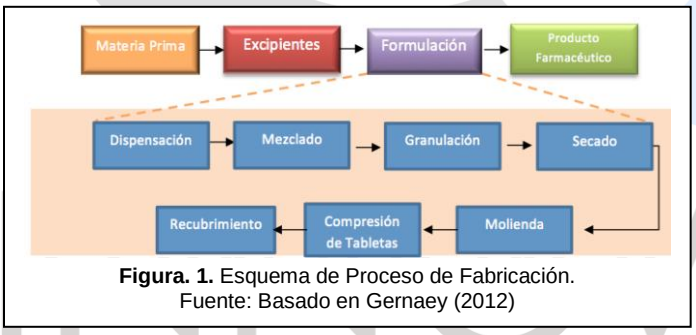


Figura. 1. Esquema de Proceso de Fabricación.
Fuente: Basado en Gernaey (2012)

Dentro del desarrollo de productos farmacéuticos de empresas localizadas en países en vías de desarrollo se destaca un esfuerzo tecnológico en las etapas de definición de excipientes y formulación, ya que la investigación básica disminuye por los altos costos que implica su desarrollo (Ibid). Por tanto, se han concentrado los esfuerzos en estas etapas ya que permite el ajuste de productos farmacéuticos ya desarrollados pero adaptados a las necesidades poblacionales y la optimización de costos en los procesos de producción. Muchas empresas han definido que sus laboratorios de I+D se enfoquen en estas etapas, para lo cual se contempla la adecuación de áreas de laboratorio y adquisición de equipos especializados que contarán con dispositivos de control en tiempo real para los procesos de formulación.

3. Investigación e Innovación en la Industria Farmacéutica

La industria farmacéutica se caracteriza por ser uno de los sectores que más apropia tecnología a sus procesos y genera continuamente nuevos productos que son protegidos generalmente por los mecanismos de propiedad intelectual como las patentes (Schuhmacher, 2016). Sin embargo, esta industria ha alcanzado un nivel pico de patentamiento con pocos productos innovadores de alto impacto en el mercado y con la exigencia de satisfacer mercados nicho (Dixon, 2010). A su vez, el modelo de negocio de la industria farmacéutica ha cambiado haciendo mucho más difíciles las decisiones de innovaciones en productos ya que el costo de la I+D se ha incrementado sustancialmente y la competencia en precios en el mercado se hace cada vez más agresiva, junto a un consumidor que conoce mucho más de aspectos médicos lo que aumenta sus expectativas de calidad en el producto y efectividad del mismo (Ibid).

Para el 2015 el gasto de I+D de compañías del sector farmacéutico y biotecnológico alcanzo los 141 billones de dólares, destacándose empresas representativas del sector como Roche, Novartis, Johnson & Johnson y Pfizer (Schuhmacher, 2016). Sin embargo, debido a los altos costos invertidos en I+D para obtener nuevas moléculas y productos innovadores, las empresas han tenido que repensar su modelo de negocio y centrarse en generar productos más especializados para nichos de mercado (Ibid).

También su cadena de valor se ha tenido que optimizar pasando de una producción de productos farmacéuticos por baches destinados a generar inventarios, a una manufactura continua y redistribuida bajo modelos de producción cercanos a la demanda real (Harrington, 2017).
Las empresas farmacéuticas se han enfocado recientemente en hacer más eficientes sus inversiones en investigación y desarrollo debido al alto costo que implica y buscando hacer rentables dichas inversiones, las actividades se centran en tres aspectos

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

(Schuhmacher, 2016):

- Reducción de riesgos en el portafolio de productos y proyectos, a través de la gestión de proyectos de portafolio y el licenciamiento.
- Reducción de costos de Investigación y Desarrollo a través de la tercerización de actividades de I+D y la realización de proyectos compartidos con otras entidades para compartir el riesgo, principalmente en las fases finales de desarrollo de productos.

Figura. 2. Concentración de la ubicación en el mundo de centros de I+D de la industria farmaceutica
Fuente: WIPO (2013)

- Aumento del potencial de innovación a través de programas de innovación abierta donde se comparte información y se trabaja de forma colaborativa con varios actores externos a la organización y puede concretarse con la institucionalización de centros de innovación o programas de crowdsourcing.

3.1. Tecnología en procesos de manufactura del sector farmacéutico

A Dentro del sector farmacéutico es motivo de controversia la falta de propuestas para mejorar la eficiencia de los sistemas de producción de la industria, la cual se ha enfocado en la investigación y desarrollo del producto farmacéutico en sí, sin embargo, los procesos de producción han pasado a un segundo plano (McKenzie, 2006).
Esta tendencia se espera cambie con el aumento del costo percibido de la investigación y desarrollo para el lanzamiento de productos innovadores y la caducidad de patentes que harán que muchos productos compitan con medicamentos genéricos bajo un esquema de precios más riguroso (McKenzie, 2006).

Entre las iniciativas que se plantean para mejorar tecnológicamente los procesos de manufactura en la industria farmacéutica se encuentran (McKenzie, 2006).

- Tecnología de procesamiento analítico enlazado con control en tiempo real, basado en los principios de calidad por diseño y análisis de riesgo. El uso de estadísticas, análisis multivariado se espera sea preponderante en los nuevos sistemas de producción el cual permitirá contar con información de características químicas, físicas y biológicas de los ingredientes activos farmacéuticos.
- Automatización de procesos de laboratorio y miniaturización usando diseño de experimentos.
- Aplicación de estándares como los de la sociedad de automatización y sistemas para generar un dialogo más sistemático entre las áreas de I+D y de manufactura. Para lo cual se requiere del desarrollo de plantas piloto y de sistemas de manejo de datos enlazadas entre las áreas de I+D y manufactura.
- El uso de herramientas de modelamiento para reducir la necesidad de experimentación empírica.
- El uso de mecanismos de experimentación paralela usando modelos de prototipado rápido.

En los últimos 5 a 10 años, la industria farmacéutica ha realizado importantes inversiones en las tres áreas fundamentales de su industria como son la de mercadeo, producción y análisis de información de toda su cadena de abastecimiento; En la medida que las compañías buscan mejorar toda su cadena de valor, servicio al cliente y eficiencia en la manufactura (McKenzie, 2006).

Por tanto, la industria ha estado trabajando diligentemente para redefinir sus procesos en planta de producción. La industria farmacéutica tradicional opera su línea productiva principalmente en el modo por lotes, y en la mayoría de pequeñas y medianas empresas ha abordado el procesamiento por lotes como un ejercicio manual, basado en un control en papel (Ibid).

Este enfoque manual no es sostenible para la industria, ya que no proporciona una cadena de suministro robusta debido a las desviaciones resultantes de las operaciones manuales.

Por tanto, es necesario el desarrollo de modelos predictivos para alcanzar alta productividad y calidad para el diseño, esto se logra con un mejor entendimien-

to de la unidad operacional y una reducción del riesgo de escalamiento de productos basado en datos recolectados del mismo proceso. Los modelos son categorizados en (McKenzie, 2006):

- Modelos Moleculares, los cuales se enfocan en la predicción de las propiedades físicas que incluyen entre otros: solubilidad, predicción de polimorfismo, reactividad, selectividad, predicción termoquímica de reacciones e interacciones de droga-excipiente para estimar las propiedades físicas de las formulaciones.
- Modelo de Procesos, el cual se enfoca en la unidad de operación como son: reacción, mezclado, extracción, destilación, cromatografía, secado, granulación, recubrimientos entre otros. Se centra en el equilibrio y el conocimiento cinético y permite predecir los resultados del proceso y aumentar el rendimiento.
- Modelaje de Sistemas, que incluye el uso de modelos para permitir actividades tales como: selección de rutas químicas, análisis de costos de proceso, evaluación del riesgo de calidad y programación de actividades de planta y equipo.

Uno de los retos clave de la industria farmacéutica es aprender cómo integrar modelos moleculares de procesos y sistemas para incrementar el desarrollo eficiente de procesos. Para esto una mayor infraestructura en sistemas de información y telecomunicaciones será necesaria para implementar estos nuevos modelos.

4. Industria farmacéutica en Países en vías de desarrollo

En Latinoamérica y en países en vías de desarrollo es limitada la I+D que se desarrolla ya que este tipo de actividades se concentran en países de altos ingresos. Sin embargo, en los últimos años ha aumentado el desarrollo de este tipo de investigación y desarrollo manejado en estos mercados emergentes por ventajas en costos y para el desarrollo de productos perfilados a nichos específicos de mercado (WIPO, 2013). Entre 2005 y 2010, el gasto del sector en I+D aumentó en un 455% en Asia Pacífico (excluido Japón), un 112% en América Latina y un 303% en la India (Ibid).

Este aumento se ha logrado gracias al interés de las grandes empresas farmacéuticas en trasladar sus esfuerzos de I+D a los países emergentes, también al surgimiento de pequeñas y medianas empresas farmacéuticas locales y a la implementación de políticas públicas que han permitido distintos tipos de innovación bio-farmaceutica. Se ha observado que las empresas farmacéuticas multinacionales han aumentado su relacionamiento con centros universitarios en forma de plataformas de investigación. Por lo general estos centros se han concentrado en ciudades como Boston y San Francisco en los EE.UU., Londres y Cambridge (Reino Unido), Uppsala (Suecia) y Múnich (Alemania) en Europa, y Singapur en Asia. Sin embargo, entre los países de ingresos medianos destaca China, que acoge 12 grandes centros de I+D. Asimismo, se han establecido varios centros de I+D en la India, el Brasil, Rusia e Indonesia como se observa en la Figura 2.

Al momento de desarrollar nuevos medicamentos, la actividad innovadora en la industria farmacéutica se divide habitualmente en investigación básica (a veces descrita como descubrimiento de medicamentos), investigación preclínica y ensayos clínicos (que a su vez se dividen en ensayos de la Fase I a III (registro) y la Fase IV (posterior al registro)) (WIPO, 2013).

Según la WIPO (2013) se ha identificado que las etapas posteriores del proceso de I+D como la investigación clínica se lleva a cabo en numerosos países de ingresos medianos que acogen aproximadamente el 15% de la actividad de ensayos clínicos mundiales. China, India, Rusia y el Brasil contabilizan el mayor número de ensayos dentro de esos mercados.

También se ha visto que en los países de medianos ingresos han consolidado capacidades de innovación incremental en productos farmacéuticos, donde los medicamentos se adaptan a los mercados locales asumiendo las características idiosincráticas que las caracterizan (WIPO, 2013). Además, se identifica un número importante de productos innovadores en las Fases II y III, y se han comercializado varios medicamentos nuevos en los propios países como Corea, China y la India. Sin embargo, actualmente no existen medicamentos de alto impacto internacional que registren ventas significativas que procedan de países de medianos ingresos.

5. Productos Genéricos en la Industria Farmaceutica

De acuerdo con Praxnikar et al. (2006), las compañías dedicadas al desarrollo y fabricación de productos genéricos en esta industria, para ser primeras en

el mercado, deben ser también las primeras en llegar a sus clientes con productos cuya patente se vence sobre un producto original, por cuanto el tiempo de llegada al mercado para su comercialización de sus nuevos productos es una fuente de ventajas comparativas (Praxnikar & Skerlj, 2006).

Los medicamentos genéricos son definidos como un producto "con la misma forma farmacéutica e igual composición cualitativa y cuantitativa en sustancias medicinales que otra especialidad de referencia, cuyo perfil de seguridad y eficacia esté suficientemente establecido por su continuado uso clínico", los cuales deben demostrar que tienen una equivalencia terapéutica con su referente; esta demostración se realiza a través de estudios de bioequivalencia (Estévez, 2000).

Existe una discusión en el medio farmacéutico en cuanto a la posible innovación que se podría generar en la industria de los medicamentos genéricos; por tanto, se ha identificado que con respecto a la generación de nuevos productos en esta industria, los cuales se pueden categorizar en tres grupos: extensiones de línea, que incluye pequeñas adaptaciones a un producto que ya está en el mercado. Resegmentación que se puede definir como un producto que ya existe, que es nuevamente registrado y lanzado a un nuevo mercado y finalmente aquellos que se conocen como nuevos productos, los cuales son por lo general completamente nuevos para la empresa y para el mercado en el segmento de genérico. Esta última clasificación puede tener o no protección activa de patentes, tener un nuevo sistema de entrega o tener tecnología genérica recombinante (biogenéricos) y conllevan un esfuerzo importante a las empresas para poder producir estos nuevos medicamentos dentro de sus procesos productivos (Praxnikar & Skerlj, 2006).

5.1. Proceso de desarrollo de productos genéricos farmacéuticos por fases

Una propuesta de fases de desarrollo de productos realizada por Praxinkar et al (2006) en la cual, con base en una revisión bibliográfica y realización de entrevistas, se definieron 6 fases de desarrollo:

Comenzando por la generación de ideas, realizada por expertos en el área específica de fármacos que se requiere desarrollar. En la siguiente fase, se realiza una evaluación aproximada de los candidatos a formular, con base en investigación documental, para cubrir información relacionada con I+D, propiedad intelectual, registro, entre otros. Una vez superada la fase anterior, se realiza, en la siguiente, el desarrollo de laboratorio, a partir de estudios de estabilidad experimental y estabilidad acelerada que comprenden adicionalmente estudios de bioequivalencia y un acercamiento al envase primario; esta fase se hace tanto a escala de laboratorio, como en planta piloto. En la siguiente fase, una vez superados los estudios mencionados, se realiza la primera prueba en planta, que involucra la preparación de la documentación y procesos de transferencia, así como preparación de los documentos de registro; en esta etapa pueden requerirse nuevos estudios como: clínicos, toxicológicos, otras bioequivalencias o estudios completos de estabilidad y termina con la producción de los lotes de registro requeridos (generalmente, tres). A continuación, se realiza la fase de registro, en la cual se entrega a las entidades de regulación de los mercados objetivo, los expedientes que se requieran, para que el producto quede registrado y sea autorizada su comercialización.

Finalmente, se realizan verificaciones previas al lanzamiento como identificación de materias primas y material de embalaje existente, para producción. Un diagrama del proceso se muestra a continuación:

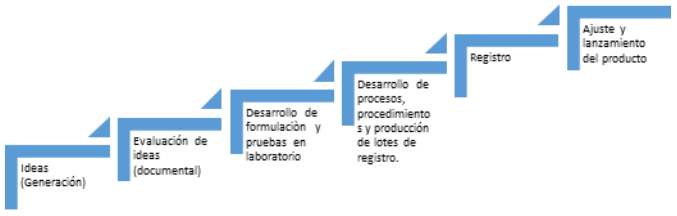


Figura. 3. Propuesta de proceso de desarrollo de nuevos productos farmacéuticos genéricos. Fuente: Elaboración propia. Datos: (Praxnikar & Skerlj, 2006)

6. Mercado Farmacéutico

La industria farmacéutica a nivel global enfrenta grandes transformaciones debido al cambio en los parámetros de demanda tanto en países desarrollados y el empuje que está teniendo los países emergentes al requerir medicamentos al mejorar la calidad de vida de su población y mejorar sus niveles de desarrollo económico (PWC, 2013).

Según la investigación de Schuhmacher (2016), las empresas farmacéuticas que no son grandes innovadores tienen altas opciones de impactar el mercado especialmente en mercados emergentes cuando se

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

centran en las opciones de crecimiento proporcionadas por el negocio de los genéricos. Si bien se prevé que el mercado mundial de medicamentos recetados crecerá alrededor del 6% anual entre 2015 y 2020, el negocio de genéricos crecerá un 12% anual en el mismo rango de tiempo (Evaluate Pharma, 2015). Se prevé que el potencial financiero de estos países sea de USD 500.000 millones para 2020 (Ibid). Como consecuencia, algunas de las compañías farmacéuticas multinacionales han cambiado sus modelos de negocio donde anteriormente se concentraron en I+D para los mercados farmacéuticos tradicionales a empresas más diversificadas, las cuales están generando una parte importante de sus ingresos totales fuera de Europa, EE.UU. y Japón vendiendo medicamentos innovadores y genéricos (Schuhmacher, 2016).

Otro aspecto interesante a resaltar dentro del cambio de las características del mercado farmacéutico lo menciona el estudio de PWC (2013) donde se identifica que al mejorar las condiciones económicas de los países emergentes, las características epidemiológicas están cambiando, por lo que se espera que las enfermedades de la población se parezcan más a las de países desarrollados. Según el estudio de PWC (2013), en su encuesta a ejecutivos de los principales laboratorios farmacéuticos, se espera un cambio en las áreas terapéuticas prevalentes en mercados emergentes con su consecuente aumento de la demanda de medicamentos. Por tanto, padecimientos como la diabetes y los relacionados a la oncología tenderán a aumentar su prevalencia, mientras que se prevé una disminución de las enfermedades infecciosas para los países emergentes, por lo que el mercado cambiara sustancialmente en estos países en los próximos años.

7. Conclusiones

La industria farmacéutica está basada en procesos de innovación que mantiene una fuerte dependencia con la tecnología y la investigación. Esto hace que se convierta el sector farmacéutico en un mercado oligopólico que limita con barreras de entrada importantes como el nivel de inversión o de posicionamiento de marca la entrada de laboratorios que quieran competir en mercados similares al dominado por los líderes de mercado (Gallo, 2010). Esto hace que los procesos innovadores no sean fáciles y que requieran de grandes esfuerzos para adaptarse a las nuevas tendencias de mercado especialmente en países emergentes.

La industria farmacéutica compite con productos originales conocidos como “de patente”, los cuales solo pueden ser fabricados por la empresa propietaria de la patente o sus cesionarias, lo que hace que este mercado sea muy restringido y centrado en empresas multinacionales con grandes capacidades de investigación y desarrollo. De otra parte, los medicamentos conocidos como genéricos son más comunes en países emergentes, para los cuales invierten en procesos de desarrollo de producto menos especializados; estos medicamentos son fabricados en su mayoría por laboratorios nacionales que invierten en desarrollo más no en la investigación inicial, ya que los productos farmacéuticos no están protegidos por patente en el país o su patente ya expiro.

Colombia como la mayoría de los países emergentes dependen en gran medida de las importaciones de medicamentos para abastecer sus necesidades, por tanto, los esfuerzos en el desarrollo y producción de medicamentos genéricos en territorio nacional deberán mantenerse para disminuir el déficit comercial que se presenta. Adicionalmente se identifica como otra característica del mercado la alta dependencia a la importación de materias primas, de principios activos y excipientes, para la producción de medicamentos a nivel local, por tanto, el desarrollo de capacidades de producción de materias primas también será crucial para aumentar la competitividad y dependencia a las importaciones que hacen parte de la cadena de producción local.

Por tanto, son varios los desafíos que enfrenta las empresas farmacéuticas en mercados emergentes pero también muchas las oportunidades para innovar ya que existen varios campos de acción que no necesariamente se enmarcan en la innovación radical de creación de medicamentos de patente sino en la optimización, desarrollo y adaptación de medicamentos así como el aumento de la producción nacional para compensar las importaciones, ahí radica la importancia en crear políticas de promoción que fomenten el desarrollo industrial de las empresas farmacéuticas nacionales.

Bibliografía

Dixon, J. P. (2010). Medicines Discovery in the 21st Century: The Case for a Stakeholder Corporation. *Drug Discovery Today, 15*(17-18), 700-703. doi:10.1016/j.drudis.2010.07.004

Estévez, F. E. (2000). Estudios de bioequivalencia: enfoque metodológico y aplicaciones prácticas en la evaluación de medicamentos genéricos. *Revista Médica del Uruguay*, 133-143.

Gallo, J. V. (2010). La capacidad de manufactura como un indicador de desarrollo tecnológico en el sector farmacéutico industrial. *Ingeniería e Investigación, 30*(1), 112-117.

Gernaey, K. V.-P. (2012). A perspective on PSE in pharmaceutical process development and innovation. *Computers & Chemical Engineering, 42*, 15-29.

Harrington, T. S. (2017). Reconfiguring global pharmaceutical value networks through targeted technology interventions. *International journal of production research, 55*(5), 1471-1487.

McKenzie, P. K. (2006). Can pharmaceutical process development become high tech? *AIChE Journal, 52*(12), 3990-3994.

Praxnikar, J., & Skerlj, T. (2006). New product development process and time-to-market in the generic pharmaceutical industry. *Industrial Marketing Management*, 690 – 702.

PWC. (2013). *Pharma emerging markets 2.0.* Retrieved 06 27, 2017, from http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Strategyand_Pharma-Emerging-Markets-2.0.pdf

Schuhmacher, A. G. (2016). Changing R&D models in research-based pharmaceutical companies. *Journal of translational medicine, 14*(1), 105.

WIPO. (2013). *Fomentar la innovación farmacéutica en los países de ingresos medianos.* http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2013/02/article_0008.html: Organizacion Mundial de Propiedad Intelectual - OMPI.

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL, Edición 6, Volumen 1. Junio - 2017
ISSN 2322-8725

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS: DESCRIPCIONES GENERALES Y APLICACIONES

Claudia Sánchez, Consultora en Innovación Tecnológica

Resumen — El desarrollo tecnológico generado en el entorno militar ha sido fuente de ideas y avance en diferentes áreas del conocimiento, situación que puede verse también en el caso de los vehículos aéreos no tripulados. Este tipo de artefactos operados remotamente, está encontrando acogida en diferentes sectores de uso civil, por lo cual se presentan perspectivas de desarrollo de nuevos modelos de negocio asociados a esta tecnología. Sus diferentes aplicaciones han requerido el diseño del vehículo con diferentes configuraciones, lo cual genera la necesidad de establecer una serie de parámetros de clasificación que dependen del grado de complejidad técnica grado de complejidad. Siendo una tecnología en desarrollo, enfrentan restricciones de tipo normativo, ético y social que presentan retos para su implementación. En este artículo se busca sintetizar información básica relacionada con los UAV (Vehículo aéreo no tripulado, UAV por sus siglas en inglés) como tecnología en desarrollo con potencialidades de usos en múltiples sectores productivos. Adicionalmente, se hace un resumen del avance en el desarrollo de este tipo de vehículos y sus sistemas asociados a nivel local

Palabras Clave — Drones, UAS, UAV, RPAS, usos de UAV.

1. Introducción

Los DRONES son sistemas de aviación diseñados con el propósito de realizar operaciones aéreas sin piloto a bordo, con la posibilidad de ser controlado a distancia (desde una estación de control en tierra) o ser pre-programado para realizar vuelos de forma autónoma y en algunos casos, pueden estar diseñados para llevar carga (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013). Son aeronaves que pueden reutilizarse y de acuerdo con sus requerimientos de operación, pueden tener diferentes mecanismos de propulsión (como motores eléctricos, de explosión o reacción), capaces de mantener el nivel de vuelo controlado y sostenido (Rodríguez-Martín, 2015). Se conocen en la literatura como Vehículo aéreo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés) o Sistemas de aviones pilotados a distancia (RPAS por sus siglas en inglés), entre otros.

Los diseños de los UAV incluyen diferentes formatos, para sus posibles aplicaciones. Aunque los primeros que se fabricaron estaban relacionados con propósitos militares, hoy en día están en desarrollo una amplia variedad dispositivos para diferentes usos y se han identificado una multiplicidad de nuevas opciones para su implementación (Joint Research Centre - JRC, 2014). A la fecha se han utilizado en cinematografía aérea, inspección (de cultivos o de aspas de molinos de viento) y se tiene interés en utilizarlos en aplicaciones asociadas a extinción de incendios o detección de sustancias químicas, aunque actualmente estas últimas se encuentran limitadas debido a requerimientos de seguridad pública (Pappota & de Boera, 2015)

Además de los vehículos individuales, en su diseño y operación se deben tener en cuenta aspectos como la necesidad de estaciones terrestres (por ejemplo para ubicar los pilotos remotos). También requieren infraestructura y software para control y comunicación.

De acuerdo con el JRC (2014) las barreras más fuertes que enfrenta actualmente la implementación de estos sistemas son de carácter regulatorio, que han exigido que técnicamente se vayan superando las restricciones y procedimientos de seguridad que demanda la utilización de este tipo de vehículos. Adicionalmente, de acuerdo con Pappota et al (2015) para obtener los permisos de vuelo de UAV por parte de las autoridades es necesario identificar el tipo de operación y demostrar la seguridad de las mismas. Por otro lado, hay aspectos sociales y éticos que todavía se encuentran en análisis y requerirán consultas públicas y análisis de las respuestas de la comunidad para establecer las normas, aplicaciones y el futuro de los UAV en la vida civil (Joint Research Centre - JRC, 2014).

Este artículo busca hacer una revisión general de los Vehículos Aéreos No Tripulados, incluyendo su clasificación, posibles usos y una identificación de su desarrollo local a la fecha.

2. Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV)

Son sistemas de aviación piloteados remotamente que se conocen popularmente como drones (ver Fig. 1). Estos vehículos vuelan sin piloto a bordo, aunque pueden involucrar pilotos humanos en el control del vehículo desde metros o kilómetros de distancia. En algunos casos, los drones requieren control remoto

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

estrecho por parte un piloto humano; sin embargo, existen drones totalmente autónomos que tienen la capacidad de decidir la manera en que ejecutarán tareas complejas (Otto, Agatz , Campbell , Golden , & Pesch , 2018).

Figura. 1. Ejemplo de UAV con cuatro rotores (de uso académico).
Fuente: (Valavanis & Vachtsevanos, 2015)

Tienen sistemas con diferentes grados de automatización y autonomía, así como sensores de navegación y cartografía integrados en plataformas controladas por radio (Colomina & Molina, 2014). La tecnología asociada a estos vehículos tiene un sistema de control tanto de vuelo como operativo, que incluye estaciones terrestres, así como la infraestructura para comunicaciones (Boucher, 2015), terminal de datos, sistemas de lanzamiento y recuperación, interfaz de control de tráfico aéreo (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013).

Según los mismos autores, debido a su condición de aviones no tripulados, estos vehículos necesitan una forma de control definida, contando actualmente con tres alternativas diferentes: Pilotaje remoto (control en tierra), control semiautónomo o control totalmente autónomo. De acuerdo con Gupta et al. (2013) los UAV modernos no son vehículos de pilotaje remoto. Se busca en su lugar diseño de vehículos semiautónomos o autónomos.

Para vuelos semiautónomos, se requiere que un operador tome el control total del vehículo en momentos específicos: antes del vuelo, en el despegue y aterrizaje y cuando está operando cerca a la base en tierra, con la opción de tomar el control de la nave en cualquier momento. Sin embargo, una vez en el aire, el vehículo puede funcionar con una opción de piloto automático, obedeciendo la programación previa que se haya desarrollado para su misión (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013). Los vuelos de control autónomo corresponden a la incorporación en el vehículo de una computadora que reemplaza al ser humano, la cual ha sido habilitada para monitorear el estado del vehículo, su configuración, así como la ejecución del control de los elementos que tiene a bordo, sometiendo su funcionamiento a las restricciones indicadas en el programa previamente desarrollado para su operación.

Los UAV se desarrollaron en principio para uso en vigilancia y combate (Boucher, 2015). Las primeras investigaciones tenían como objetivo desarrollar un vehículo armado, que redujera el riesgo de personas en territorios hostiles (Rao, Gopi, & Maione, 2016). Sin embargo, con el paso del tiempo se ha establecido la posibilidad de desarrollar nuevas aplicaciones para usos industriales y en general en la vida civil (Boucher, 2015); por ejemplo, el uso de drones en búsqueda y rescate de personas en un evento natural, generó la certificación de drones con usos diferentes al militar (Rao, Gopi, & Maione, 2016).

3. Clasificación de los UAV

Las tipologías de clasificación permiten hacer diferencia entre las características de operación y de capacidad; por lo tanto, actualmente se cuenta con una diversidad de categorizaciones para los drones. Adicionalmente, algunos de los tipos de clasificación están relacionados con aspectos físicos que pueden responder a temas regulatorios. Dentro de las métricas utilizadas para realizar los diferentes tipos de clasificación de los UAV, se incluyen el peso medio de despegue (MTOW por sus siglas en inglés), el tamaño, la masa, la altura de vuelo, entre otras (Valavanis & Vachtsevanos, 2015).

MTOW se considera un buen punto de partida para realizar la clasificación de aeronaves, por cuanto su tipificación se realiza con respecto al riesgo que cada UAV puede representar en el caso de un impacto, tanto para personas como para la propiedad. Otra clasificación puede realizarse con base en la altitud por cuanto indican requisitos que permiten evitar colisiones. Este tipo de vehículos también se pueden clasificar usando como parámetros de diferenciación clave tanto la desviación máxima de ruta de vuelo ordenada, como su duración, factores que están correlacionados indirectamente con el riesgo de colisión en el aire. Otro criterio puede ser el peso, siendo UAV pequeños aquellos con menos de 25 Kg de peso, de peso medio entre 25 y 150 Kg, mientras vehículos de 150 Kg en adelante, se consideran pesados. De acuerdo con las categorías de los UAV, se puede presentar la necesidad de establecer diferentes requisitos de certificación tanto para los pilotos, como para los sistemas de control, entre otros requerimientos que van generándose en la medida en que avanza la tecnología y se incrementa la diversidad de sus aplicaciones (Valavanis & Vachtsevanos, 2015).

Un tipo de clasificación a partir de criterios de forma se puede ver en la Tabla 1.

Finalmente, de acuerdo con el uso o aplicación, los

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

drones se clasifican en 6 categorías funcionales, que son: UAV objetivo y señuelo, de reconocimiento, de combate, de logística, de investigación y desarrollo, y de aplicaciones civiles y comerciales (González, Martínez, Bueno, & Arias, 2017)

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE UAS.

Clasificación	Características físicas	Características de operación
Ala fija	• UA con alas • Requieren de pista para aterrizar o despegar	Resistencia: larga
Ala rotatoria	• Tipo helicóptero, • Posibilidad de despegue y aterrizaje vertical. • Rotores pueden ser: principal y de cola, coaxiales, en tándem o múltiples.	Capacidad de vuelo estacionario y alta maniobrabilidad
Globos aerostáticos	Más livianos que el aire. Por lo general, de gran tamaño	larga resistencia baja velocidad
Alas aleteantes	Alas pequeñas flexibles y morfológicas. Pueden tener configuraciones híbridas	

Fuente: Adaptado de (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013)

4. SUBSISTEMAS DE LOS UAV

Los sistemas que involucran los UAV incluyen la aeronave (avión no tripulado) con sus enlaces de comando y control, sus enlaces de comunicación y la estación de control en tierra (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013).

Según Gupta et al (2013) los sistemas de control de vuelo pueden usar radio o una computadora a bordo (con GPS), que se conectan al sistema de control del vehículo. Este sistema incluye las estaciones de control, los enlaces de comunicación, terminal de datos, los sistemas de lanzamiento y recuperación, el equipo de apoyo en tierra y la interfaz de control de tráfico aéreo (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013).

Estos vehículos también requieren sensores, que permitan mantener vuelo con poca o ninguna intervención humana directa. Por ejemplo, los sensores de navegación y micro-procesadores, son los que permiten la navegación y logro de las misiones y en términos de la estructura de costos del dispositivo, tienen el mayor impacto económico asociado a la fabricación del vehículo (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013). También necesitan sensores para medir cambio en distancia, posición, grupo o rumbo o sensores de posición absolutos, como el GPS (Global Positioning System) que permite tener la posición del vehículo con respecto a la tierra (Castillo, Lozano, & Dzul, 2005).

Como se mencionó anteriormente, los UAV requieren sistemas de comunicación; por ejemplo, un enlace de datos que por lo general está constituido por un transmisor de Radio Frecuencia y un receptor, una antena y módems, que permitan poner en contacto estos aparatos con los sistemas de sensores. Estos enlaces de datos pueden realizarse de manera directa (punto a punto) o comunicación por satélite (STATCOM) y tienen tres funciones principales: Enlaces ascendentes para enviar datos de control desde un punto (estación terrestre o satélite) al UAV; Descendentes que envían datos desde los sensores del UAV y por último un enlace que permite medir el azimut (orientación respecto del norte) y rango desde la estación terrestre hasta el UAV (Gupta, Ghonge, & Jawandhiya, 2013).

Estos vehículos, requieren de un área denominada estación de control en tierra, en la cual se tienen los elementos de telecomunicación, dispositivos que facilitan la guía y control, los giróscopos y otros elementos que facilitan el control del vuelo.

5. USOS NO MILITARES DE LOS DRONES

Los drones de aplicación civil y comercial, son aquellos cuyos operadores se dedican a actividades como fotografía y videos a nivel profesional, construcción e inspección de infraestructura, vigilancia e inspección y actividades relacionadas con atención de emergencias (González, Martínez, Bueno, & Arias, 2017).

De acuerdo con Rao et al (2016), la existencia de este tipo de vehículos origina la posibilidad de desarrollar múltiples oportunidades de negocio, entre las que se encuentran el alquiler de drones para diversos usos, servicios de mantenimiento y reparación de drones.

5.1. DRONES PARA MONITOREO Y GESTIÓN DE TRÁFICO

El volumen de tráfico que crece continuamente, demanda información en tiempo real que permita su monitoreo y control. Esta actividad implica la necesidad de recoger información precisa sobre varios aspectos asociados: condiciones de carretera, estado del tráfico, emergencias, accidentes o eventos que puedan generar congestión (Kanistras, Martins, Rutherford, & Valavanis, 2015). De acuerdo con Valavanis et al. (2015), existe un gran número de investigaciones relacionadas con el uso de UAV como solución a esta necesidad, que comprobó ser una alternativa que

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

permite monitoreo y gestión en tiempo real del tráfico, con menor consumo de tiempo en su realización.

5.2. Drones (UAS) para transporte de carga

Se reconoce el potencial de aplicación de los UAV como solución para la entrega de paquetes, por ejemplo en transporte de última milla. Sin embargo, las aplicaciones prácticas a esta solución todavía están en desarrollo, por cuanto enfrentan varios retos como: el diseño del vehículo (materiales y carga), el desarrollo de rutas apropiadas y que cumplan con la regulación, o la coordinación entre una cantidad de vehículos (UAV) que realizan tales entregas (Barmpounakis, Vlahogianni, & Golias, 2016).

Una de las aplicaciones que está en desarrollo es un dron que facilite el transporte de carga (hasta 5 libras) buscando cambiar procesos de envío y entrega, que ha sido promovida por empresas como Amazon Prime Air, DHL y Google, (Rao, Gopi, & Maione, 2016). El diagrama de jugadores actuales, en el desarrollo de drones para última milla se puede ver en la Figura 2. Este proyecto tiene previstos tres tipos de aplicación, (Brar, Rabbat, Raithatha, Runcie, & Yu, 2015) tal como se lista a continuación:

- Uso de estos vehículos por parte de empresas globales de mensajería.
- Uso de Drones por minoristas a partir de plataformas en línea.
- Operación y administración de drones.

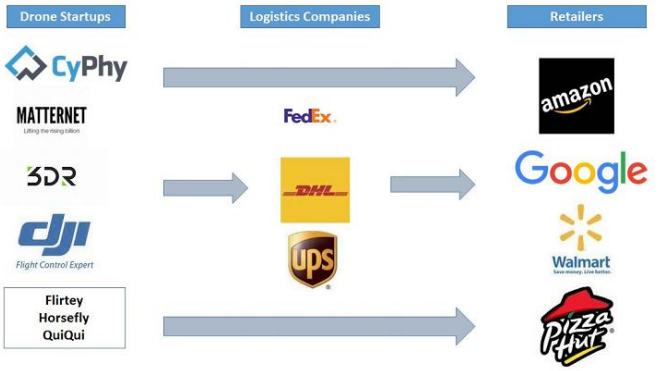


Figura. 2. Empresas que desarrollan dron para transporte de última milla
Fuente: (Brar, Rabbat, Raithatha, Runcie, & Yu, 2015)

5.3. Drones (UAS) para Otras Aplicaciones

También se han identificado usos de los drones en la medición y exploración de ambientes volcánicos, en operaciones de detección, monitoreo y extinción de fuego, como apoyo en operaciones marítimas entre otras aplicaciones potenciales (Valavanis & Vachtsevanos, 2015). Adicionalmente, este tipo de vehículos puede ser usado para el desarrollo de actividades como monitoreo de cultivo o acciones específicas en agricultura de precisión (González, Martínez, Bueno, & Arias, 2017)

6. Estado del Arte Local

Se identificó desarrollo de esta tecnología y su utilización en Colombia en fase de investigación, con desarrollo de productos patentables (consultados en las plataformas de COLCIENCIAS y la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) respectivamente). Adicionalmente, se identificaron avances en la reglamentación del uso de este tipo de Vehículos, generada por la Aeronáutica Civil.

6.1. Reglamentación

Según Gomis & Falck (2015), la utilización de drones en Colombia generó debates desde el año 2015, al discutir su uso en la coordinación de operativos de seguridad vial y en la regulación del tráfico vehicular en vacaciones de fin de año. Como en el caso de toda nueva tecnología, se requiere del diseño, implementación y validación de los reglamentos de uso de estos vehículos en cada país, los cuales en principio atienden necesidades y requerimientos locales, para posteriormente llegar a una estandarización de las normas y el diseño de reglas comunes que puedan ser usadas en diferentes lugares (DHL, 2014).

Algunos aspectos que generan debate en diferentes lugares e influyen en el desarrollo de la reglamentación, están relacionados con la congestión del espacio aéreo, los riesgos inherentes relacionados con un posible fallo de un sistema vital de un UAV que pueda ocasionar su caída, desconfianza del público en general debido a una posible pérdida de privacidad, entre otros factores (DHL, 2014).

En Colombia actualmente se permiten dos tipos de aplicaciones para UAV: drones para tomar fotos - videos o drones de uso recreativo – deportivo; para las cuales, la Aeronáutica Civil expidió en julio de 2015 una circular denominada “Requisitos generales para la aeronavegabilidad y operación para RPAS”, en la cual se restringe el uso de drones hasta un peso (25 kilogramos) y limita su uso cerca de aeropuertos, bases militares, de policía o entidades gubernamentales, entre otros. Adicionalmente, pone límites de distancia y altura máxima de vuelo, así como a la distancia mínima de uso con respecto a objetos o personas (AEROCIVIL, 2015), como se puede ver en la Tabla 2.

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

TABLA 2
REGULACIÓN DE DRONES PARA USO EN FOTOGRAFÍA, VIDEO O RECREATIVO- DEPORTIVO EN COLOMBIA.

Regulación	Distancia (valor máximo o mínimo permitido)
Distancias de vuelo permitida	• 750 metros
Altura máxima	• 152 metros.
Altura mínima (con respecto a objeto o persona)	• 50 metros

Fuente: Adaptado de (AEROCIVIL, 2015).

6.2. Investigación en COLOMBIA

Con respecto a los proyectos de los grupos de investigación registrados en la plataforma Scienti, se identificaron desarrollos asociados a UAV principalmente en diseño del vehículo, aunque también se encuentran avances en los sistemas de navegación, estrategia de control y procesos de manufactura para estos dispositivos, para uso en diferentes aplicaciones, como se observa en la Tabla 3.

6.3. PATENTES solicitadas en Colombia

Para el año 2015 se habían realizado nueve solicitudes de patente, por seis personas naturales, tres empresas y una entidad académica (CIGEPI - SIC, 2015). De las solicitudes de patentes, las temáticas incluían control de UAV usando ondas de radio, dispositivos para control de floras silvestres y combustibles, sistemas para identificación de condiciones atmosféricas adversas, cámaras y nuevos métodos de modelamiento de condiciones atmosféricas, entre otros (CIGEPI - SIC, 2015).

Se realizó una búsqueda en base de datos de Patentes de la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), con el fin de identificar la existencia de solicitudes de patentes a nivel nacional, relacionadas con UAV. Se identificaron las siguientes:

- ✓ Solicitud No. 15243027 de octubre de 2015 "Avión no tripulado para inspección de infraestructura" de tres universidades: Universidad Militar Nueva Granada, Pontificia Universidad Javeriana y Universidad Nacional de Colombia.

- ✓ Solicitud 15135385 de junio de 2015 "Avión no tripulado de ensamble modular" de la Universidad Militar Nueva Granada.

Lo cual hace evidente que el campo de desarrollo tiene potencial y que actualmente se cuenta con capacidades de investigación y desarrollo para impulsar el diseño de estos vehículos.

TABLA 3
PROYECTOS REGISTRADOS EN LA PLATAFORMA SCIENTI, DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA.

Tipo de Proyecto	Título registrado en Gruplac
Investigación y Desarrollo	• Concepción de un Vehículo Aéreo No Tripulado del Tipo QuadRotor para Aplicaciones de Supervisión Aérea de Instalaciones de Petróleo y Gas Natural • Desarrollo del sistema de navegación autónoma para el "UAV" de la Escuela Naval "Almirante Padilla" • Diseño y construcción de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) NAVIGATOR X2. Fase III: puesta a punto y vuelos de prueba
Trabajos de grado de pregrado	• Herramienta para simulación, pruebas y validación de estrategia de control longitudinal de los UAV de la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla • Descripción de la plataforma direccional para la antena receptora de video del UAV • Análisis de estabilidad y control del vehículo aéreo no tripulado USB-AGRO • Proceso de manufactura de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) NAVIGATOR X-2.1
Prototipo Industrial	• Vehículo Aéreo No Tripulado para Apoyo Operaciones Infantería de Marina

Fuente: Adaptado de (COLCIENCIAS, 2017)

7. CONCLUSIONES

Siendo tecnología diseñada originalmente para operaciones militares, el desarrollo e implementación de los vehículos aéreos no tripulados ha generado expectativas en aplicaciones civiles, desde los procesos de investigación, hasta su posible utilización en diversos sectores económicos, con la oportunidad de desarrollar vehículos especializados para los usos específicos que demanda cada sector.

Dadas las diferentes necesidades para las cuales se ha reconocido su utilidad, se han diseñado diferentes tipos de UAV que han demandado diferentes esquemas de clasificación, de acuerdo con características o variables de su diseño y operación, de manera que faciliten tanto su identificación como la reglamentación de uso.

Los requerimientos de operación de los drones de-

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

mandan diseños tanto del vehículo individual, como de sistemas relacionados con procesos de control, comunicaciones, infraestructura en tierra que faciliten su operación remota, su lanzamiento y recuperación.

El desarrollo de los UAV ha demandado en diferentes partes del mundo del análisis y diseño de normativas que permitan su utilización de manera segura, protegiendo los intereses de los ciudadanos. La implementación y prueba de estas normas y reglas a nivel local, permitirá establecer una colección de buenas prácticas que faciliten la estandarización de las mismas a nivel global.

El potencial de los UAV para la investigación y desarrollo es muy promisoria, por las distintas aplicaciones en las cuales puede ser usado; por tanto, dependerá tanto del sector académico como del productivo su explotación y aprovechamiento en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

AEROCIVIL. (27 de 07 de 2015). *Circulares Reglamentarias* . Obtenido de Sitio Web de la Aeronáutica Civil: http://www.aerocivil.gov.co/Lists/Noticias%20Internet/Attachments/197/CIRCULAR%20REGLAMENTARIA%20%20002%20-%20RPAS.pdf

Barmpounakis, E. N., Vlahogianni, E. I., & Golias, J. C. (2016). Unmanned Aerial Aircraft Systems for transportation engineering: Current practice and future challenges. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 111–122.

Boucher, P. (2015). Domesticating the Drone: The Demilitarisation of Unmanned Aircraft for Civil Markets. *Science and Engineering Ethics, 21*(6), 1393–1412. doi:https://doi.org/10.1007/s11948-014-9603-3

Brar, S., Rabbat, R., Raithatha, V., Runcie, G., & Yu, A. (2015). Drones for Deliveries. *Sutardja Center for Entrepreneurship & Technology Technical Report*, 1-21.

Castillo, P., Lozano, R., & Dzul, A. E. (2005). *Modelling and Control of Mini-Flying Machines.* London: Springer Science+Business Media.

CIGEPI - SIC. (2015). *Boletín Tecnológico: Vehículos Aereos no Tripulados, DRONES y sus sistemas de comunicación*. Bogotá: Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad Industrial - CIGEPI.

COLCIENCIAS. (2017). *Sitio Web Gruplac - Red Scienti - Colciencias*. Recuperado el 2016, de http://scienti.colciencias.gov.co:8083/ciencia-war/

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79–97.

DHL. (2014). *UNMANNED AERIAL VEHICLES IN LOGISTICS.* Troisdorf, Germany: DHL Customer Solutions & Innovation.

González, H., Martínez, J., Bueno, M., & Arias, P. (2017). Unmanned Aerial Systems for Civil Applications: A Review. *Drones, 1*(1), 1-19. doi:https://doi.org/10.3390/drones1010002

Gupta, S., Ghonge, M., & Jawandhiya, P. (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), 2*(4), 1646 -1658.

Joint Research Centre - JRC. (2014). *Civil Drones in Society: Societal and Ethics Aspects of Remotely Piloted Aircraft Systems.* European Commission , Institute for the Protection and Security of the Citizen. Luxembourg:: Publications Office of the European Union. doi:10.2788/14527

Kanistras, K., Martins, G., Rutherford, M. J., & Valavanis, K. P. (2015). Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for TrafficMonitoring. En *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* (págs. 2643-2666). Springer Science.

Otto , A., Agatz , N., Campbell , J., Golden , B., & Pesch , E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks*, 1–48. doi:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/net.21818

Pappota, M., & de Boera, R. (2015). The integration of drones in today's society. *Procedia Engineering*, 54 – 63.

Rao, B., Gopi, A. G., & Maione, R. (2016). The societal impact of commercial drones. *Technology in Society*, 83e90.

Rodríguez-Martín, E. (2015). *Sistema de posicionamiento para un drone.* San Cristobal (España): Universidad de la Laguna.

Valavanis, K., & Vachtsevanos, G. (2015). *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles.* New York: Springer.

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL, Edición 6, Volumen 1, Junio 2017
ISSN 2322-8725

USO DE LA TECNOLOGIA EN EL DEPORTE

Juan C. Salavarrieta, Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

Resumen — En la actualidad, el mundo del deporte ha mostrado como el poder de la tecnología y la innovación ha llevado al ser humano a desarrollar mayores y mejores habilidades físicas. Entre ellas se encuentran: correr más rápido, saltar más alto, soportar mayores presiones atmosféricas, etc. Inclusive, no es necesario ser un deportista de alto rendimiento para aprovechar las bondades y beneficios que brinda la tecnología. Hoy en día en gimnasios y entrenamientos personalizados se ven progresos exponenciales mediante el uso de dispositivos portátiles inteligentes (relojes inteligentes, ciclo computadores, monitores cardiacos, etc.) los cuales monitorean y registran las actividades físicas y mediante el análisis de datos dan recomendaciones y programas específicos para cada necesidad del atleta o del deportista ocasional. Esto ha mejorado las condiciones de salud y de bienestar en la sociedad, y ha motivado a una serie de investigaciones en el campo de las ciencias del deporte, que buscan mejorar el rendimiento deportivo, independientemente de las capacidades biológicas de cada individuo; en la actualidad, el manejo y análisis de datos al igual que el uso de datos precisos y herramientas tecnológicas son de gran utilidad al momento de hacer actividades deportivas.

Palabras Clave — Big Data Analysis, Ciencia del deporte, Análisis de Juego, Rendimiento Deportivo.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la ciencia del deporte se ha basado en conceptos fundamentales tales como: fisiología, psicología, control motor y biomecánica, los cuales son aplicados de manera individual al estudiar el desempeño y funcionamiento en cualquier participación deportiva del ser humano. Al comprender cómo se desempeñan el organismo a nivel fisiológico, los científicos del deporte y el ejercicio pueden diseñar, monitorear y evaluar programas de entrenamiento para ayudar a los atletas y entrenadores a alcanzar su máximo potencial (Ohio University, 2016).

De manera complementaria se pueden estudiar las respuestas fisiológicas al ejercicio desde una perspectiva de salud; los beneficios psicológicos y las barreras del ejercicio en personas sedentarias, las habilidades psicológicas utilizadas por los campeones olímpicos, los patrones de movimiento de un niño que aprende a caminar o las dinámicas de movimiento de un salto mortal completo en gimnasia. Además, muchos científicos del deporte y el ejercicio se especializan en aprender cómo la actividad física puede ayudar a prevenir y tratar las principales enfermedades crónicas como la artritis reumatoide, la enfermedad cardiovascular, la obesidad, la diabetes, el cáncer y la osteoporosis (Ibis).

En la actualidad se considera la integralidad de las ciencias al momento de monitorear, evaluar y dar recomendaciones en el campo de la ciencia del deporte. Es por eso que no solo consideraría la dinámica biomecánica de un movimiento, sino también los requisitos fisiológicos y psicológicos de un deportista (Bangor University. UK, 2017). Ninguna de las disciplinas puede proporcionar la mejor solución a un problema aislado y los equipos deportivos más avanzados tienen todo el espectro de científicos deportivos que trabajan juntos para apoyar al equipo (Ibid).

Este articulo pretende dar una descripción sobre como la tecnología está revolucionando la ciencia del deporte, la relevancia que tiene en la actualidad el análisis de datos en el deporte y como esta práctica ha cambiado el desempeño de deportistas en general. También se dan ejemplos de los tipos de innovaciones tecnológicas en el campo deportivo, tanto para las actividades deportivas como para quienes la practican. Con la implementación de ayudas tecnológicas se presentan riesgos en el manejo de información, tema al que también se hace referencia en el presente artículo.

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

ISSN 2322-8725

2. Uso de análisis de datos en el deporte

El análisis de gran cantidad de datos (Big Data) está cambiando la naturaleza de la ciencia deportiva.

Estudios iniciales parten de la posibilidad de registrar los movimientos exactos de los jugadores en juegos de equipo como fútbol o baloncesto y se parte de la siguiente pregunta ¿cómo pueden los algoritmos procesar estos datos para proporcionar una perspectiva de desempeño deportivo significativa?

El objetivo es medir el desempeño de un deportista utilizando un enfoque basado en la evidencia científica que proporcionan los datos en lugar de una tradición dominada por la anécdota y la intuición (MIT Technology Review, 2016).

Es por eso que los científicos del deporte han intentado mejorar este enfoque en deportes de equipo como el baloncesto, futbol, el fútbol americano, etc. Esta ciencia es impulsada por la capacidad de recopilar grandes cantidades de datos sobre los jugadores y el juego mientras este está en progreso (ibid). Esta práctica ha tenido un gran crecimiento gracias a nuevas tecnologías e innovaciones en el campo de captura y visualización de datos.

Sin embargo, en muchos de estos deportes, la capacidad de recopilar datos no ha sido igualada por la capacidad de procesarlos de manera significativa, ya que depende de la dinámica de juego de cada deporte y las características biofísicas de los jugadores (Ohio University, 2016). Este escenario propone una pregunta que desafía las ciencias del deporte respecto al nivel evolutivo de la toma y el análisis de datos. La ciencia del deporte los reconoce como "juegos de invasión". Todos consisten en dos equipos que compiten por la posesión de una pelota en un área de juego restringida. Cada equipo tiene el objetivo simultáneo de anotar poniendo el balón en la "portería" opuesta y al mismo tiempo, defender su propia meta. El equipo que marque el mayor número de puntos al final del juego es el ganador.

Los datos recopilados generalmente consisten en trayectorias de jugador y pelota a lo largo del juego y registros de eventos, o movimientos que describen pases, tiros, tacleadas, entre otros. En la actualidad, los sistemas de rastreo de objetos más modernos tales como cámaras de alta definición o rastreadores de movimiento digitales en cámara lenta producen trazas espacio-temporales de las trayectorias de los jugadores con alta definición y alta frecuencia, lo que a su vez, ha facilitado una variedad de esfuerzos de investigación entre muchas disciplinas, que permite obtener información de las trayectorias durante el juego (Liebermann, y otros, 2002).

El gran desafío que presenta la ciencia del deporte es utilizar estos datos para obtener una ventaja competitiva, preferiblemente en tiempo real durante el juego o para ayudar en el entrenamiento, la preparación o el reclutamiento de deportistas. Sin embargo, si bien los investigadores han logrado avances significativos, también existen importantes obstáculos que impiden mayores avances (Gudmundsson & Horton , 2016).

Uno de los más significativos implica en comprender cómo los jugadores pueden dominar partes del campo cerca de ellos. En ciencias del deporte, la región dominante de un jugador es aquella a la que puede llegar antes que cualquier otro jugador. Una forma sencilla de calcular esto es dibujar un diagrama Voronoi, que divide geométricamente las regiones más cercanas a cada jugador Figura 1. (b) (MIT Technology Review, 2016).

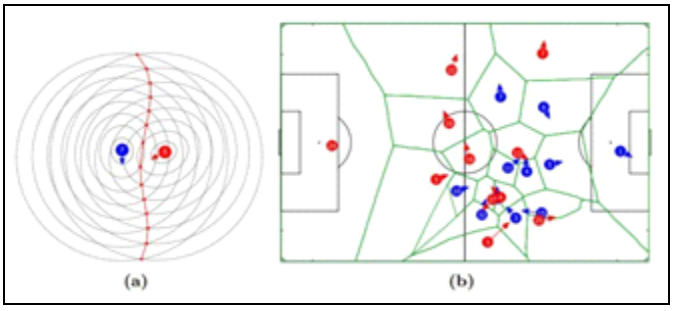


Figura 1. Diagrama de Voronoi aplicada al futbol (a): área que un jugador puede cubrir en un tiempo determinado (b) movimiento de jugadores respecto a su posición dominante.
Fuente: (MIT Technology Review, 2016)

Calcular el diagrama de Voronoi para cada jugador en el campo es computacionalmente costoso. En la actualidad han sido pocos los casos en los que se ha hecho con éxito en tiempo real, y no en la duración de un juego completo. Para sortear esta dificultad, los investigadores calculan una propiedad diferente (la región que cada jugador puede alcanzar en un tiempo determinado, Figura 1 (a) y luego buscan superposiciones que luego se resuelven lo que presenta una pérdida de precisión del 10 por ciento.

Pero incluso entonces, este enfoque ignora una serie de factores cruciales. Quizás lo más significativo, es que no tiene en cuenta el impulso de los jugadores. Claramente, un jugador en movimiento puede dominar una región más grande que un jugador estacionario.

Esto puede llevar a subdivisiones complejas de la cancha. Cuando el jugador A corre contra un jugador oponente B que está parado, cada uno puede tener más de una región dominante, y estos pueden no estar conectados entre sí. Por ejemplo, el impulso del jugador "A" da mejor acceso a algunas, pero no a todas, de la región detrás de "B".

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

Por lo tanto, un problema importante en la ciencia del deporte, es cómo calcular las regiones dominantes en tiempo real. Esta es una de las muchas problemáticas que representa el análisis de gran cantidad de datos en el deporte (Gudmundsson & Horton , 2016).

Para complementar el ejemplo analítico anterior, se encuentra un área cada vez más importante del análisis deportivo conocida como la ciencia de redes complejas (*network science*). Esta técnica trata a cada jugador como un nodo y traza una línea entre ellos cuando la pelota viaja de uno a otro (pases). Ha sido un área de investigación que ha tenido grandes avances porque se ha desarrollado una amplia gama de herramientas matemáticas para analizar las redes que se forman (IBM Big Data & Analitics Hub, 2016).

Por ejemplo, es sencillo calcular los nodos más importantes de la red utilizando una medida conocida como centralidad. En el fútbol, los porteros y delanteros tienen la centralidad más baja, mientras que los defensores y los mediocampistas tienen la más alta (Ibid).

La dificultad que se presenta con la ciencia de red es que hay muchas formas diferentes de medir la centralidad y determinar los grupos, y no siempre está claro por qué un método debería preferirse a otro. Por lo tanto, otro problema abierto es evaluar y comparar sistemáticamente estos métodos diferentes para determinar su utilidad y valor (MIT Technology Review, 2016).

Otra clase de problemas proviene del análisis de datos exclusivos de la dinámica del juego. Por ejemplo, dada la lista de trayectorias de jugadores y registros de eventos por un período durante el juego, ¿es posible determinar la formación del equipo (estratégicamente en futbol 4-4-2) o el tipo de marcación utilizada por el equipo defensivo? Estas interrogantes hacen de la ciencia del deporte y de análisis de datos una fuente inagotable de estudio que involucra diferentes disciplinas, destacándose la matemática, y las ciencias de la computación (MIT Technology Review, 2016).

3. Ejemplos de uso de la Tecnología en el deporte:

Era acostumbrado que el entrenamiento deportivo requería un extenso registro en formatos de papel, lo que representaba un esfuerzo posterior al entrenamiento e inclusive después del juego, tanto para el entrenador como para el deportista. Mientras el atleta practicaba, las notas y el video se tomaban con diligencia y luego se agrupaban en tablas y gráficos que representaban el desempeño de ese jugador. Después de la práctica, el entrenador y el atleta trabajarían juntos para discutir los dolores, las molestias y los pensamientos sobre los movimientos físicos ocurridos durante el entrenamiento o juego. El sistema tenía bastante por mejorar, por muchos años fue la forma en las que se desarrollaba el deporte, hasta que la tecnología transformó el campo del entrenamiento deportivo (Isaac, 2015).

La tecnología asociada al deporte se ha vuelto más pequeña, más resistente y menos costosa en los últimos años, lo que permite avances en desempeños en varias disciplinas deportivas. En la actualidad, los deportistas usan sensores que transmiten información en tiempo real a la tableta de un entrenador, un GPS identifica con precisión el movimiento de un ciclista, los teléfonos inteligentes mantienen los deportistas ocasionales dentro de sus rangos de rendimiento y los dispositivos portátiles pueden prevenir lesiones (Liebermann, y otros, 2002).

Los avances en tecnología han tenido un profundo impacto en el deporte, incluyendo, de manera general los siguientes ejemplos (Queensland Academy of Sport, 2016):

- Análisis del rendimiento deportivo y habilitación de los entrenadores para mejorar en gran medida la calidad de los comentarios de los jugadores / atletas.

- Aumentar la precisión en las mediciones de tiempo del rendimiento deportivo.

- Permitir que los árbitros y oficiales deportivos tomen mejores decisiones sobre las infracciones a las reglas.

- Mejoras en el diseño de equipamiento deportivo y ropa.

- Proporcionar a los espectadores una mejor visión del rendimiento deportivo.

De igual manera se puede citar las siguientes tecnologías de transmisión de datos e imágenes que han estado presente en los últimos años en transmisiones deportivas (Wood , 2008).

El uso de dispositivos electrónicos controlados por computadoras se emplea para medir los tiempos de rendimiento de los atletas en una gran cantidad de deportes, como atletismo, ciclismo, esquí, trineo, triatlón y muchos más. En el caso de Atletismo, el tiempo electrónico también mide el tiempo de reacción del atleta a la pistola de arranque en caso de que el atleta se mueva demasiado temprano en los bloques.

Otro sistema informático conocido como ¨Hawkeye¨ fue utilizado por primera vez en 2001 para mostrar la trayectoria de una pelota de cricket, lo cual ha generado un gran avance para este y otros deportes que han adaptado este sistema. Hawkeye produce todo tipo de análisis estadístico, como la velocidad de la

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

bola, el lanzamiento de la bola en la ventanilla y la trayectoria de la bola después del rebote. Hawkeye ahora se usa en el tenis para ayudar a determinar si un disparo está "dentro" o "fuera". El análisis del rendimiento deportivo provisto por Hawkeye ha mejorado enormemente el conocimiento y la participación del espectador (Ibis).

Otro ejemplo de desarrollo tecnológico es el logrado con las cámaras de video en miniatura, los espectadores ahora también pueden presenciar el rendimiento deportivo de formas que antes no eran posibles. Las cámaras de video se pueden colocar en lugares como autos de carreras, tocones de cricket, postes de gol e incluso en el atleta (Ohio University, 2016).

También se encuentran materiales usados en diferentes equipos o implementos deportivos como objeto de constante investigación y desarrollo, para mejorar el rendimiento deportivo. Algunos ejemplos incluyen:

- Los trajes de baño de cuerpo entero, hechos de poliuretano, tuvieron un gran impacto en los Juegos Olímpicos de 2008 y se prohibieron un año más tarde porque hacía una diferencia evidente en el rendimiento de los nadadores.

- Fibra de kevlar (5 veces más fuerte que el acero pero más ligera) utilizada en la fabricación de velas, neumáticos de bicicleta, botas de fútbol, raquetas de tenis, cascos, chalecos antibalas y más.

- bicicletas de carreras y conchas de remo hechas de materiales ligeros pero resistentes que minimizan la resistencia al aire o al agua.

4. Riesgos Del Uso De Big Data En Deportes

Si bien se han logrado grandes avances en la recolección y manejo de datos en el deporte, existen riesgos asociados con la pertinencia y la importancia de los datos recolectados. En deportes de alto rendimiento, se deben tener en cuenta preguntas como: ¿qué pasa si la información de los atletas cae en manos equivocadas? o ¿qué tan valiosa es la información de un atleta, en términos de cuantas horas duerme, que tiempo tarda en recuperarse, etc? Esta información le dará mayor o menor valor en un mercado de jugadores / atletas y paralelamente a la ayuda que le permite a los entrenadores trabajar en zonas débiles del jugador (Marr, 2017).

Este tipo de interrogantes muestran dos riesgos al momento de recolectar y analizar datos, el primero, es el tipo de seguridad que se tiene al momento de toma y almacenamiento de datos. Esta situación se ve, por ejemplo, en la Formula 1, donde la ventaja la dan miles de millones de datos aportados por la telemetría que trasmiten los autos en competencia y en entrenamientos, los cuales, son trasmitidos directamente a centrales de datos (como se ve en las trasmisiones) cerca de la zona de pits, y en donde se pueden tomar decisiones que representan ganar o perder una carrera donde cada milésima de segundo cuenta. Los equipos de Fórmula 1 deben invertir grandes recursos en cuidar su información, pues gracias a ella es que se logran las victorias en grandes premios, en donde los avances en aerodinámica, tipo de manejo del piloto y ganancias marginales son esenciales (Gudmundsson & Horton , 2016).

Un segundo riesgo se presenta cuando la información recolectada es usada como ventaja por parte de entrenadores y manejadores de jugadores. Estos tienen un mayor conocimiento acerca del comportamiento físico de un jugador y pueden ocultar información clave al momento de hacer una transferencia o cualquier negocio en un mercado de jugadores.

Esta inequidad en la información genera un desbalance, en el cual se puede jugar con la salud del jugador, sometiéndolo a esfuerzos (por ejemplo, jugar por periodos extensos de tiempo o hacer movimientos de alta dificultad) que de antemano, los datos confirman que no puede realizar, favoreciendo el espectáculo o intereses privados, antes que la integridad del deportista.

Esta situación está presente en deportes como el futbol, baloncesto o futbol americano, en donde se realizan “subastas de jugadores” (drafts) y se contratan a los jugadores “más valiosos”, en la mayoría de los casos, teniendo solo información circunstancial de su tipo de juego (vistos desde su juego en campo), entrevistas e información básica de su estado anímico y físico. La limitación en la información del jugador, permite especular (económicamente) a los manejadores en la subasta, y poner presión sobre los jugadores (Marr, 2017).

5. Conclusiones

El entrenamiento y seguimiento de los deportistas ha presentado un aumento en el uso de la tecnología para mejorar el rendimiento deportivo, y se llega a depender de la cantidad de datos recolectados reevaluando su eficacia y necesidad. Sin embargo, es inevitable el uso de la tecnología y su impacto y penetración en el público deportista aficionado. La investigación y el desarrollo de dispositivos y prendas deportivas es una industria en sí misma que crea oportunidades para la inversión y el empleo, y cada vez es más accesible para el público general, lo que genera conciencia sobre como practicar disciplinas deportivas, disminuyendo riesgos y lesiones, a la vez que mejora significativamente el rendimiento del deportista.

En el ámbito del deporte de alta competencia, se han identificado retos en perfeccionar los algoritmos que

Todos los Derechos Reservados por COLINNOVACION®

puedan resolver las situaciones de juego en tiempo real. En este escenario el análisis de datos deberá justificarse como herramienta que pueda ayudar a mejorar el rendimiento tanto dentro como fuera del campo. Interrogantes como: ¿Se pueden utilizar como una métrica del rendimiento y el valor del jugador? ¿Pueden determinar si un jugador que tiene éxito en un equipo también tendrá éxito en otro? Podrán ser respondidas mediante el análisis de datos provistos por dispositivos y sistemas tecnológicos e interpretados por expertos en disciplinas asociadas con la ciencia del deporte. (Liebermann, y otros, 2002).

Ya sea en los deportes o en los negocios, cuando los datos se convierten en un activo sobre el que se basa la toma de decisiones importantes e impactan en la competitividad, debe protegerse como cualquier otro activo estratégico.

BIBLIOGRAFÍA

Bangor University. UK. (2017). What is Sports Science? *School of Sport, Health and Exercise Sciences*, 1-2.

Gudmundsson, J., & Horton , M. (2016). *Spatio-Temporal Analysis of Team Sports.* Nueva York: Cornell University.

IBM Big Data & Analitics Hub. (2016). *Sports and Analitics.* Big Data & Analitics Hub.

Isaac, L. (2015). Technology in Sport. *Sports Management*, 1-2.

Liebermann, D., Katz, L., Hughes, M., Bartlett, R., McClemens, J., & Franks, I. (2002). Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sports Sciences*, 755-769.

Marr, B. (2017). The Big Risk of Big Data in Sports. *Forbes*, 1-3.

MIT Technology Review. (2016). Big Data Analysis Is Changing the Nature of Sports Science. *MIT Technology Review*, 1-3.

Ohio University. (2016). How Technology is Revolutionizing Sports Training. *Master of Coaching Education*, 2.3.

Queensland Academy of Sport. (2016). *Sport Science disciplines.* Queensland: Queensland Gov .

Wood , R. (2008). Technology in Sports. *Topend Sports* .

.

INNOVACION®

INNOVACION

(57)+1 6725048
(57) 315 796 6545
Carrera 20 No 184 - 48 Local 4
Bogotá D.C., Colombia.
gzamudio@colinnovacion.com
contacto@colinnovacion.com

www.colinnovacion.com