



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
APLICADAS Y AMBIENTALES
U.D.C.A**

**LA NUEVA FRONTERA DE LA PREPARACIÓN DEPORTIVA, LA GENÉTICA Y EL
POLIMORFISMO ACE I/D EN ATLETAS DE RESISTENCIA**

Wilson Arroyo Moya

Pedro Alejandro Escarria Moreno

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales

Facultad de Ciencias de la Salud

Programa de Ciencias del Deporte

Bogotá, Colombia, noviembre 2019

**LA NUEVA FRONTERA DE LA PREPARACIÓN DEPORTIVA, LA GENÉTICA Y EL
POLIMORFISMO ACE I/D EN ATLETAS DE RESISTENCIA**

Wilson Arroyo Moya

Pedro Alejandro Escarria Moreno

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Profesional en Ciencias del Deporte

Asesor:

Alonso Rodríguez Buitrago

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales

Facultad de Ciencias de la Salud

Programa de Ciencias del Deporte

Bogotá, Colombia, noviembre 2019

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Wilson y Meyra, quienes con su esfuerzo han hecho de mí el hombre que soy hoy. Quiero decirles que han sido una de mis mayores motivaciones. Gracias, por tanto. Una mención especial para mis hermanas quienes me sirven de ejemplo. Les amo a todos.

Wilson Arroyo

Este proyecto está dedicado a mi mamá Alexandra con todo el amor del mundo, quien ha sido mi apoyo y modelo a seguir para convertirme en la persona que soy hoy.

Alejandro Escarria

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer primeramente a Dios y a nuestros padres, por el apoyo, por la motivación, por siempre estar cuando les necesitamos.

Una mención especial por su respaldo, por su colaboración, por su guía y confianza al profesor Alonso Rodríguez, que desde un principio siempre nos motivó en este proceso.

RESUMEN

Introducción. Las valoraciones genéticas son un componente importante para proceso de selección de talentos deportivos. Sean identificado al menos 120 marcadores genéticos asociados al deporte, siendo el polimorfismo ACE I/D uno de los más estudiados y relacionados con el rendimiento en deportes de resistencia. **Objetivo.** Nuestro estudio busco determinar la importancia del gen ACE I/D para los deportes de resistencia y de las valoraciones genéticas dentro del proceso de detección y selección de talentos deportivos, **Materiales y métodos.** Se realizó una búsqueda de literatura en tres bases de datos (Pubmed, Sportdiscus y Scopus) utilizando los términos MESH y la ecuación de búsqueda [ACE I/D polymorphism and endurance athletes]. **Resultados.** Se identificaron trece estudios con los criterios de inclusión, en donde nueve de estos reportaron las frecuencias alélicas y todos reportaron las frecuencias genotípicas del polimorfismo. El promedio del grupo de atletas vs el grupo control para las frecuencias alélicas y genotípicas arrojaron que existe una diferencia significativa en el alelo I en favor del grupo de atletas. En la frecuencia genotípica la combinación II tuvo mayor promedio en el grupo de atletas, mientras que la combinación ID fue similar en los dos grupos. **Conclusiones.** Las valoraciones genéticas son una herramienta fundamental en el proceso de detección y selección deportiva, pero en Colombia son escasos los procesos o estudios de este tipo. Es entonces necesario, en futuras líneas de investigación, poder determinar las características genéticas de deportistas de elite, en nuestro caso, deportistas de elite en disciplinas de resistencia. El estudio permite concluir que el alelo I y la combinación genotípica ID son ideales para los deportes de resistencia.

Palabras clave: Genética, polimorfismo ACE I/D, resistencia, selección deportiva

ABSTRACT

Introduction: Genetic assessments are an important component for the sports talent selection process. At least 120 genetic identifiers associated with sport are identified, with ACE I / D polymorphism being one of the most studied and related to performance in endurance sports.

Objective: Our study will determine the importance of the ACE I / D gene for endurance sports and genetic statistics in the process of detecting and selecting sports talents.

Materials and methods. A literature search was conducted in three databases (PubMed, Sport discuss and Scopus) using the terms MESH and the search equation [ACE I / D polymorphism and endurance athletes].

Results: Thirteen studies were identified with the inclusion criteria, where nine of these reported allelic frequencies and all reported genotypic frequencies of polymorphism. The average of the group of athletes vs. the control of the group for allelic and genotypic frequencies showed that there is a significant difference in the allele. I am in favor of the group of athletes. In genotypic frequency the combination II had a higher average in the group of athletes, while the combination ID was similar in the two groups.

Conclusions: Genetic assessments are a fundamental tool in the process of detection and sports selection, but in Colombia they are the limitations of processes or studies of this type. It is then necessary, in future lines of research, to determine the genetic characteristics of elite athletes, in our case, elite athletes in resistance disciplines. The study concludes that the allele I and the genotypic combination ID are ideal for endurance sports.

Keys words: Genetic, ACE I/D polymorphism, endurance athletes, sport selection

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 15 |
| 2.1.1 GENERAL | 15 |
| 2.1.2 ESPECÍFICOS | 15 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 16 |
| 3.1 BASES TEÓRICAS | 16 |
| 3.1.1 IDENTIFICACIÓN DE TALENTOS DEPORTIVOS | 16 |
| 3.1.2 GENÉTICA/EPIGENÉTICA | 22 |
| 3.1.2 GENÉTICA Y DEPORTE | 27 |
| 3.1.3 ENZIMA CONVERTIDORA DE ANGIOTENSINA (ACE) | 30 |
| 3.2 ANTECEDENTES | 31 |
| 4. METODOLOGÍA | 35 |
| 4.1 Tipo de estudio | 35 |
| 4.2 Enfoque | 35 |
| 4.3 Diseño | 35 |
| 4.4 Criterios de elegibilidad | 36 |
| 4.5 Fuentes de información y búsqueda | 37 |
| 4.6 Proceso de recolección de datos | 38 |
| 5. RESULTADOS | 39 |
| 5.1 Análisis de las frecuencias alélicas entre atletas y grupos control | 42 |
| 5.2 Análisis de las frecuencias genotípicas entre atletas y grupos control | 43 |
| 6. DISCUSIÓN | 46 |
| 7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | 50 |
| 8. APORTES | 52 |
| 8.1 La genética en la detección y selección del deportista | 52 |
| 8.2 Propuesta Modelo de identificación de talentos | 55 |
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 58 |
| 10. ANEXOS | 65 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. . Modelo óptimo de selección de talentos deportivos. Platonov (1997). | 19 |
| Figura 2. Selección natural de talentos deportivos. Elaboración propia a partir de Bompa (2007) | 21 |
| Figura 3. Selección científica de talentos deportivos. Elaboración propia a partir de Bompa (2007) | 21 |
| Figura 4. Respuestas fisiológicas ligadas al polimorfismo ACE I/D | 32 |
| Figura 5. Flujograma de resultados | 39 |
| Figura 6. Promedio de las frecuencias alélicas reportadas en los estudios..... | 41 |
| Figura 7. Promedio de las frecuencias genotípicas reportadas en los estudios | 42 |
| Figura 8. Promedios de las frecuencias alélicas de grupos atletas y controles de los estudios | 43 |
| Figura 9. Promedios de las frecuencias genotípicas de grupos atletas y controles de los estudios | 44 |
| Figura 10. Promedio de frecuencia alélicas por continente..... | 45 |
| Figura 11. Promedio de frecuencias genotípicas por continente | 45 |
| Figura 12. Componentes participantes en la selección deportiva (elaborado por los autores)..... | 55 |
| Figura 13. Modelo de selección deportiva | 56 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| 1. Porcentaje de Heredabilidad de Varios Fenotipos Ligados al Deporte. Adaptado de Bouchard et al. (2011) | 29 |
| 2. Ítems para la clasificación de artículos..... | 36 |
| 3. Bases de datos consultadas..... | 38 |
| 4. Bibliometría..... | 65 |

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

ACE I/D: Polimorfismo de un solo nucleótido registrado.

ACE: Enzima convertidora de angiotensina.

ACTN3 R577X: Polimorfismo en el gen que codifica el alfa actinina 3

ACTN3 Arg577: Polimorfismo en el gen que codifica el alfa actinina 3

AMPD1 Gln12: Adenosina monofosfato desaminasa esquelético.

ADN: Acido desoxirribonucleico.

AT: Angiotensina.

BK2R: Antagonismo pulsátil en el receptor de bradiquinina.

COL1A1: Proporciona instrucciones para formar parte de una molécula grande llamada colágeno tipo I.

COL5A5: Gen para la membrana basal tipo IV colágeno cadena alfa-5.

TNC: Tenascin-C es el miembro fundador de la familia de proteínas tenascina.

5HTT: Transportador de serotonina.

BDNF: La proteína BDNF ayuda a regular la plasticidad sináptica, que es importante para el aprendizaje y la memoria.

UCP2 Ala55val: Desacoplamiento de proteína mitocondrial 2

HIF1A 582Ser: Polimorfismo del gen que la subunidad alfa del factor 1 inducible por hipoxia.

NOS3 rs2070744: Polimorfismo del gen óxido nítrico sintetasa endotelial 3.

PNI: Polimorfismo de nucleótido individual.

PPARA rs4253778: Polimorfismo del gen receptor activado por proliferador de peroxisoma- α .

PPARG 12Ala: Polimorfismo del gen receptor activado por proliferador de peroxisoma- α .

PPARGC1I Gly482: Polimorfismo del gen receptor activado por proliferador de peroxisoma- α .

VO2Max: Consumo máximo de oxígeno.

IC: Índice de confiabilidad.

SRAA: sistema renina-angiotensina-aldosterona.

SNP: Polimorfismo de nucleótido simple

NHGRI: Instituto Nacional de Investigación del Genoma Humano.

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Matriz de artículos. Bibliometría..... | 65 |
|---|----|

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas de preparación deportiva se soportan bajo la aplicación de complejos y estructurados métodos de entrenamiento que requieren de individuos con características especiales. Dichos individuos se identifican bajo actuaciones deportivas excepcionales, y su nivel de exigencia es tan alto que, para alcanzarlo, dichos deportistas deben cumplir con un perfil morfológico, fisiológico y psíquico único. Estas combinaciones, incluso en las mejores condiciones del proceso de entrenamiento, se encuentran de manera muy escasa (Platonov & Bulatova, 2015). Se establece entonces, como factor diferencial para el rendimiento, la implementación de un sólido proceso de selección y orientación deportiva.

El desarrollo deportivo a través de la historia del hombre, ha tenido grandes aportes a la evolución del individuo, buscando día a día el atleta con mayor rendimiento para aprovechar de la mejor manera las características de su cuerpo. No obstante, en el rendimiento deportivo todavía se percibe un empirismo relativo en la selección y preparación, en donde algunos factores aún son ejecutados al azar (Sena, Gomez, Mimbacas & Ferreira, 2012). Dentro de esta perspectiva, está fundamentada la necesidad de difundir científicamente el empirismo, acción que sustenta la programación del entrenamiento deportivo; y donde se diferencia entre el éxito y el fracaso (Dantas, 2012).

En este contexto, surge como un elemento de fundamental importancia, dentro del proceso de detección y selección deportiva, el estudio de los marcadores genéticos; donde investigaciones explican, que gran parte de las características del rendimiento y la condición física de los deportistas depende de los genes, y que estas, son informativas y objetivas, contribuyendo grandemente en la caracterización y determinación de un perfil óptimo en las distintas disciplinas deportivas (Pinheiro & Fernandes, 2004; Ahmetov & Fedotovskaya, 2015). Son de tanta

importancia las variables genéticas y morfológicas en el atleta, que estas son fundamentales en el desarrollo y alcance de un alto rendimiento durante los procesos de entrenamiento, viéndose reflejados en las competiciones, ya que influyen directa o indirectamente en las acciones técnicas y tácticas de la modalidad (Clarke- Jansen *et al.* 2005).

El descubrimiento de los primeros marcadores genéticos asociados con el rendimiento deportivo (ACE, ACTN3 y AMPD1) datan de principios del siglo XXI, y gracias a que la genotipificación está cada vez más disponible, se han publicado una gran cantidad de estudios genéticos que evalúan variantes genéticas candidatas (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015), que han ido siendo publicadas en el mapa del gen humano para los fenotipos de rendimiento y fitness relacionados con la salud (Sánchez, Campuzano, & Iglesias, 2009).

El ACE I/D es uno de los polimorfismos genéticos más estudiados y ampliamente asociados con el rendimiento deportivo en la última década (Sgourou *et al.* 2012). Esta variación se define por la presencia (inserción, alelo I) o la ausencia (delección, alelo D) de un fragmento de 287 pb, del cual se derivan tres variantes genotípicas II, ID y DD. El principal efecto de este, se da en el sistema renina-angiotensina-aldosterona, ya que, a través de su activación, la Angiotensina I se convierte en angiotensina II, que es conocida por su potente función en la vasoconstricción, de igual manera, la ACE inactiva a la bradiquinina, conocida por su potencia vasodilatadora (Moya *et al.* 2012). Es así que, el aumento de la actividad de la ACE impulsa respuestas hipertensivas y disminuye las respuestas hipotensoras, desempeñando así, un papel crucial en la regulación de la presión arterial humana y la homeostasis de sal y agua (Puthuchearry *et al.* 2010). El alelo I es asociado con una menor actividad enzimática y ha sido altamente relacionado al rendimiento en deportes de resistencia, mientras que al alelo D se asocia con una mayor actividad enzimática,

aumentando los niveles de angiotensina II y lo relacionan con el rendimiento en deportes de fuerza/potencia (Jones *et al.* 2002; Eider *et al.* 2013).

Este estudio examinara la hipótesis de que el alelo I y el genotipo II, son las dos variantes que podrían predisponer un mejor rendimiento en deportes de resistencia.

2. OBJETIVOS

2.1.1 GENERAL

Determinar la relación entre el polimorfismo ACE I/D y el rendimiento deportivo en deportistas de resistencia.

2.1.2 ESPECÍFICOS

- Determinar cuál es la combinación alélica y genotípica que predispone un mejor rendimiento en deportes de resistencia.
- Clasificar los resultados por grupos alélicos y genotípicos de los atletas con los grupos controles, por ubicación geográfica y por deporte.
- Diseñar un modelo de selección deportiva con base en la literatura ya existente.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 BASES TEÓRICAS

El deporte, al igual que la ciencia y la tecnología, ha tenido una evolución muy significativa en la última década, es por ello, que los procesos implicados en la preparación y las exigencias de los deportistas han aumentado con el correr de los años. Son esas mismas exigencias, las que hacen que el nivel de los resultados sea tan alto, y es debido a esto, que el deportista necesita poseer una serie de características especiales de tipo morfológico, físico y psíquico, que deben estar en el nivel máximo de su desarrollo, para así, acceder a la excelencia en el deporte de alto rendimiento (Platonov & Bulatova, 2015). El talento representa una clave importante para acceder a esa excelencia deportiva y la selección de este, constituye el primer paso para encaminarse dentro del proceso deportivo y que esos sujetos, con las aptitudes necesarias, puedan conseguir los más altos niveles del perfeccionamiento deportivo (Leiva, 2010).

Gracias a la terminación exitosa del Proyecto Genoma Humano, lo cual representó un avance histórico en la vida del ser humano, ha motivado el uso de la genética, para resolver ecuaciones no tan claras, de aquellos componentes que nos hacen especiales. En este sentido, esta ciencia, ha empezado a jugar un papel protagónico (al igual que en otros campos) dentro de las ciencias del deporte, como un instrumento conductor en la identificación de los talentos deportivos.

3.1.1 IDENTIFICACIÓN DE TALENTOS DEPORTIVOS

3.1.1.1 Talento deportivo

Ahora bien, ¿qué es un talento deportivo?, esta es una pregunta y un concepto realmente importante, del cual debemos tener claridad para poder abordar, en principio, el proceso de selección. Varios autores han hecho su aporte para dar un concepto y responder el interrogante

abordado, para Weineck (2005), por ejemplo, “el talento deportivo es la totalidad de las condiciones del niño o del joven que le habilitan para conseguir y desarrollar rendimientos deportivos”. De igual manera, Weineck, nos indica que el nivel y las posibilidades para el desarrollo de esas condiciones de rendimiento, están ligadas por las predisposiciones (podemos entender, genéticas) y por el proceso de la actividad, es decir, el entrenamiento. Un talento deportivo, según lo planteado por García Manso (1996), debe ser capaz de combinar sus capacidades motoras y psicológicas y, además, debe poseer unas estructuras anatómicas y fisiológicas que, en conjunto, le brinden la posibilidad y el potencial para el logro de altos resultados deportivos, en un deporte en específico. Denominar como talento a una persona, debe aceptarse, con base en sus aptitudes o con fundamento en sus condiciones de comportamiento hereditario y adquiridas, para decir que posee una aptitud especial, o una gran aptitud para el desempeño deportivo (Bohme, 1994; Hernández, 2015). Esas condiciones innatas y adquiridas, son las fundamentales para acceder a la excelencia en el deporte de competición (Leiva., 2010).

3.1.1.2 Selección deportiva

Es clave entender que el talento existe, que hay una población con esas características especiales, que pueden estar en cualquier lugar del territorio y por ende resulta complejo la evaluación y de esa manera detectarlos. Es por esto, que debemos entender cuál es el propósito que tiene la selección deportiva dentro del proceso extenso de preparación deportiva. Para Makarenko (1996) citado por Leiva (2010), “el objetivo principal de la selección deportiva consiste en buscar la mayor correspondencia entre las características individuales, particularidades y aptitudes de la persona para con las exigencias propias de uno u otro especialidad”, por su parte Platonov y

Bulatova (2015), plantean que la selección deportiva, es aquel proceso de búsqueda de las personas más dotadas, capaces de lograr altos resultados en un deporte en concreto, de tal manera que se resuelva la tarea de descubrir los sujetos perspectivas, con los cuales se puedan llevar a cabo las tareas de preparación de deportistas excepcionales.

La selección de talentos según Leiva (2010), “constituye un proceso sistemático ineludible que ha pasado a formar parte del deporte de alta competición. Este hecho supone reconocer la existencia de una organización estructurada a través de un modelo de fases y objetivos concreto, en el que se desarrolla el proceso que lleva al atleta desde el momento de su identificación como talento, hasta su conformación como tal”. Varios autores proponen un proceso de fases, que el deportista necesita suplir, para llegar a la máxima realización de sus capacidades, en el año de 1997, Platonov, planteo un proceso al que llamo “Modelo óptimo” (figura 1), que tiene como fin, buscar y sostener al deportista de alto nivel por un ciclo de varios años, en lo que se define como “longevidad deportiva”.

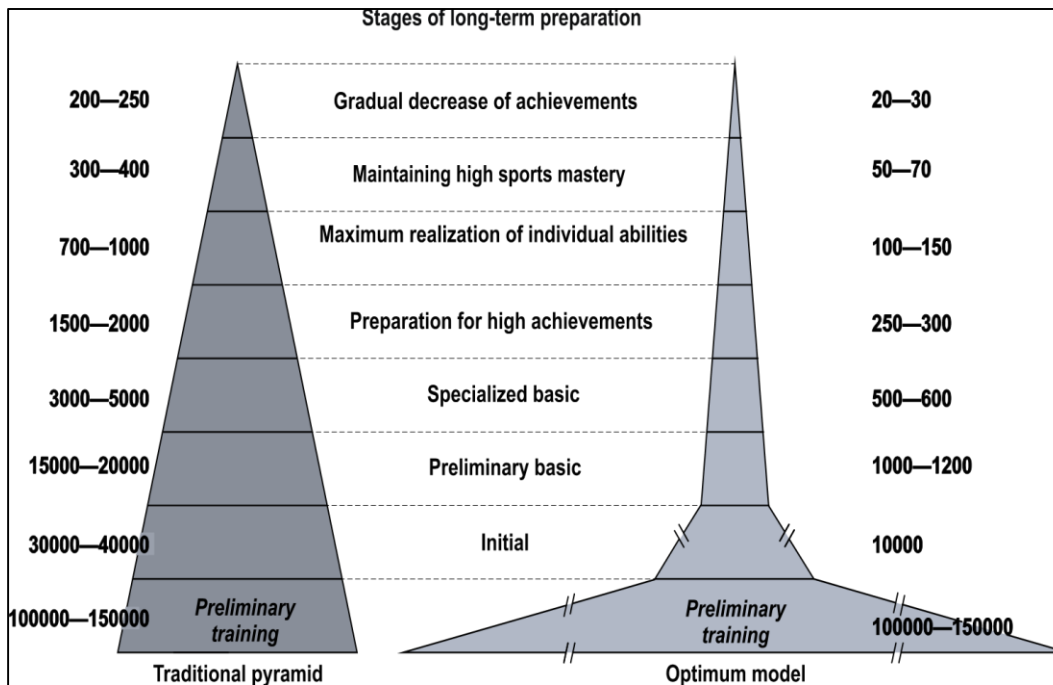


Figura 1. . Modelo óptimo de selección de talentos deportivos. Platonov (1997).

Ahora bien, Manso (1996) plantea una serie de criterios que deben ser tenidos en cuenta a la hora de la selección de un deportista:

1. Herencia;
2. Edad biológica;
3. Edad óptima de selección;
4. Estado de salud;
5. Parámetros antropométricos;
6. Composición muscular;
7. Potencial de desarrollo de cualidades físicas y coordinativas;
8. Predisposición al rendimiento;
9. Características psicológicas;
10. Capacidades cognitivas;
11. Características socioeconómicas;
12. Antecedentes históricos.

Todos estos criterios, detallándolos de manera objetiva, son fundamentales para determinar el talento de una persona, para un deporte en específico. Es por esto, que en los últimos tiempos, se han generado alternativas nuevas para la selección de talentos en el deporte, una de estas, tiene

que ver con el primer criterio planteado por Manso, la herencia, esa parte genética, que viene siendo de vital importancia, dado que ofrece información sobre las posibilidades funcionales del sujeto (Avella & Medellín, 2013), estableciendo una relación fuerte entre el estudio detallado del fenotipo (conjunto de caracteres) y el genotipo (constitución genética) con el deporte (Martínez *et al.* 2012).

3.1.1.3 Métodos de selección

Dentro del proceso de selección deportiva, se han descrito varios métodos de selección, que se usan normalmente para la búsqueda de los deportistas. En este orden de ideas, Bompa (2007) describe dos métodos de selección, el primero catalogado selección natural y el segundo la selección científica.

La selección natural representa lo que habitualmente se plantea, un deportista que se inscribe en un deporte a causa de la tradición educacional, el deseo de los padres o influencia del medio, la evolución en el rendimiento de ese deportista depende de varios factores, uno de ellos es el de, si por casualidad, tienen talento para ese deporte. Es debido a esto que la evolución de su rendimiento, con frecuencia, se da de manera más lenta (Figura 2).

El segundo método de selección, Bompa (2007) lo catalogo como selección científica, básicamente se tienen en cuenta las observaciones obtenidas, de valoraciones científicas, obtenidas de los científicos del deporte y en comparación con los deportistas del método anterior, el tiempo que requieren estos, para alcanzar el alto rendimiento es más corto, debido a que ya poseen aptitudes y características importantes para la práctica de un determinado deporte (Figura 2).

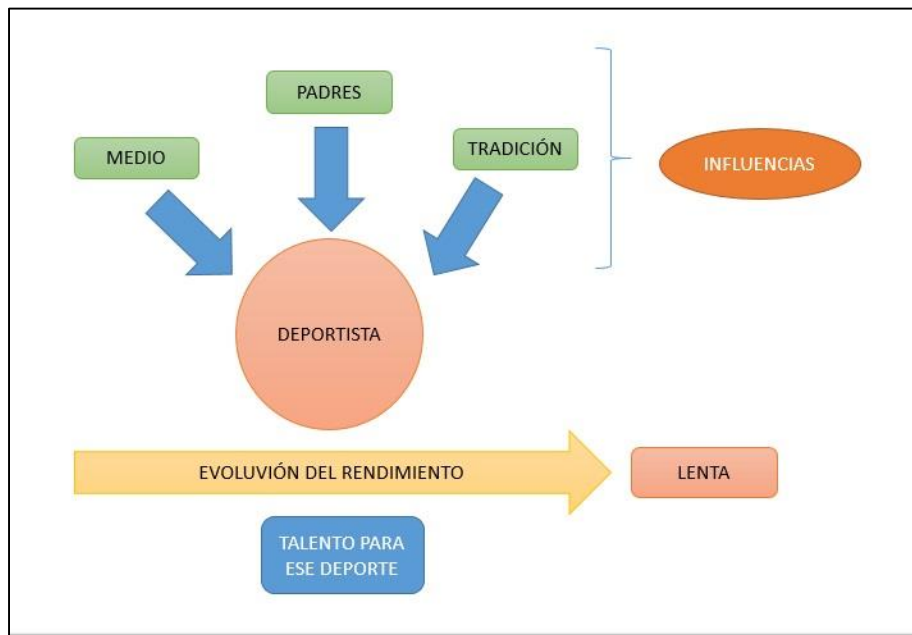


Figura 2. Selección natural de talentos deportivos. Elaboración propia a partir de Bompa (2007)

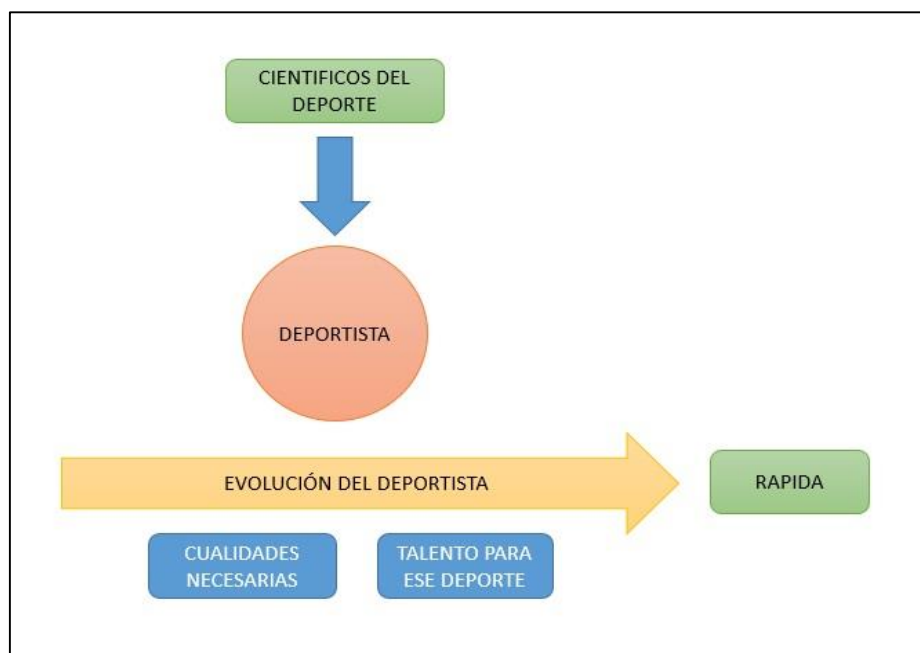


Figura 3. Selección científica de talentos deportivos. Elaboración propia a partir de Bompa (2007)

3.1.1.4 Orientación deportiva

Como ya se ha descrito, la selección del talento representa uno de los pasos más importantes dentro del proceso deportivo, pero es mucho más importante especificar en qué dirección concreta hay que orientar la actividad deportiva de esos participantes, para poder contribuir, con mayor eficacia, en el desarrollo de las capacidades individuales a la formación y satisfacción de las necesidades e intereses relevantes de la personalidad (Leiva, 2012).

Es entonces la orientación deportiva aquella herramienta básica, con la que se podrá establecer la vía más prospectiva con rumbo hacia la maestría deportiva, basada en el estudio de las aptitudes y capacidades de los deportistas, sus particularidades individuales y su maestría (Platonov & Bulatova, 2015).

3.1.2 GENÉTICA/EPIGENÉTICA

Los estudios de biología molecular han vivido los últimos 25 años una importante revolución y en la actualidad su influencia es muy relevante en el campo de las ciencias, desde la publicación del *Origen de las especies* (1859) de Charles Darwin, pasando por los experimentos con guisantes (1865) de Gregorio Mendel hasta el lanzamiento del Proyecto Genoma Humano (1990), la elaboración detallada del mapa genético humano (1995) y la finalización de la secuencia del genoma humano (2003) (Sánchez *et al.* 2009), de igual manera la conceptualización ha sido llevada a condiciones muy técnicas y por ende vemos de manera pertinente conocer varios conceptos importantes para esta investigación.

La **genética** es el campo de las ciencias biológicas que intenta comprender cómo la herencia biológica se transmite de una generación a la siguiente y cómo se desarrollan estos procesos. Así pues, uno de los objetivos de la genética es el estudio de los patrones de herencia y de cómo éstos se transmiten de padres a hijos (Sánchez *et al.* 2009).

Bouchard *et al.* (2011), hablan de la genética como la ciencia que se encarga de estudiar un gen en específico y la secuencia de ese gen, así como la transmisión de rasgos y fenotipos a través de generaciones.

Ahora bien, el genoma humano contiene más de 25.000 genes, cada uno con una función especial dentro del organismo, como pueden ser el producir energía o participar en algún otro proceso. El código de ADN puede ser similar en dos personas de la misma familia, más, sin embargo, la forma en que sus genes funcionen puede ser diferente, es a esto a lo que se le conoce como epigenética. El término **Epigenética** fue acuñado en la década del cincuenta para describir el mecanismo por el cual los organismos multicelulares desarrollan múltiples tejidos diferentes a partir de un único genoma. En la actualidad reconocemos que este proceso se logra mediante marcas moleculares detectables; dichas marcas generan modificaciones que afectan la actividad transcripcional de los genes y una vez establecidas son relativamente estables en las siguientes generaciones. El uso actual del término consiste en indicar cambios heredables en la estructura y organización del ADN que no involucran cambios en la secuencia y que modulan la expresión génica. Estos cambios en la expresión génica implican, entonces, cambios heredables en el fenotipo. Los mecanismos tradicionales de regulación epigenética incluyen metilación del ADN y modificaciones de histonas, entendiendo a estas proteínas como las encargadas de empaquetar el

ADN y considerando que los dos tipos de mecanismos participan en la modulación de los complejos remodeladores de la cromatina (Robles *et al.* 2012).

3.1.2.1 ADN

Es necesario conocer algunos conceptos básicos ligados a la genética, que permitirán la comprensión más detallada de la investigación. El NHGRI define el ADN como:

El ADN está formado por unos componentes químicos básicos denominados nucleótidos. Estos componentes básicos incluyen un grupo fosfato, un grupo de azúcar y una de cuatro tipos de bases nitrogenadas alternativas. Para formar una hebra de ADN, los nucleótidos se unen formando cadenas, alternando con los grupos de fosfato y azúcar. Los cuatro tipos de bases nitrogenadas encontradas en los nucleótidos son: adenina (A), timina (T), guanina (G) y citosina (C). El orden, o secuencia, de estas bases determina qué instrucciones biológicas están contenidas en una hebra de ADN.

Es importante mencionar que el ADN contiene las instrucciones que un ser humano necesita para su desarrollo, supervivencia y reproducción. Estas funciones necesitan que las secuencias de ADN sean transcritas a mensajes que puedan ser traducidas para la fabricación de proteínas, dichas proteínas son las moléculas complejas que realizan la mayor cantidad de trabajo en el cuerpo humano (NHGRI, s.f).

3.1.2.2 Cromosoma

Para el entendimiento de la investigación es necesario decir que el cromosoma es un saco de ADN muy ordenado que alberga muchos genes y que está ubicado en el núcleo de la célula. Es una unidad discreta del genoma, compuesta por una molécula de ADN doble y una masa aproximadamente igual de proteínas (Krebs, Goldstein & Kilpatrick, 2012). Los diferentes organismos tienen diferentes números de cromosomas. Los humanos tenemos 23 pares de cromosomas - 22 pares autosómicos, y un par de cromosomas sexuales, X e Y. Cada progenitor contribuye con un cromosoma de su par de autosomas y uno del par sexual, de manera que la descendencia obtenga la mitad de sus cromosomas de su madre y la mitad de su padre (NHGRI, s.f).

3.1.2.3 Alelo

Según el NHGRI (s.f) un alelo es:

Un alelo es cada una de las dos o más versiones de un gen. Un individuo hereda dos alelos para cada gen, uno del padre y el otro de la madre. Los alelos se encuentran en la misma posición dentro de los cromosomas homólogos. Si los dos alelos son idénticos, el individuo es homocigoto para este gen. En cambio, si los alelos son diferentes, el individuo es heterocigoto para este gen. Aunque el término alelo fue usado originariamente para describir variaciones entre los genes, ahora también se refiere a las variaciones en secuencias de ADN no codificante (es decir, que no se expresan).

3.1.2.4 Mutación

Las mutaciones aportan evidencia definitiva de que el ADN es el material genético. Las mutaciones son alteraciones frecuentes que se dan en la secuencia de ADN por la que está compuesto el gen. Cuando se da una variación a la secuencia de ADN se genera una alteración, se puede concluir que el ADN codifica dicha proteína. Algunas mutaciones se dan como resultado de las funciones celulares normales o por la interacción con el entorno, estas mutaciones se denominan mutaciones espontaneas. De igual manera existen mutaciones inducidas, esto quiere decir que son producidas por la acción de un mutágeno y la potencia de este se establece a través del nivel de aumento del valor basal de mutaciones (Krebs *et al.* 2012).

Las mutaciones pueden producir pérdida o ganancia de funciones, la mutación anuladora es la que elimina por completo la función de un gen y si dicho gen es esencial para la supervivencia esto podría ser mortal. Cuando se obtiene el efecto contrario y hace que una proteína adquiera una nueva función, se denomina mutación con ganancia de función o dominante (Krebs *et al.* 2012).

3.1.2.5 Polimorfismos

La diversidad del genoma entre especies es obvia, mientras que la diversidad del genoma dentro de una misma especie hace que cada individuo sea único e irrepetible. Esta diversidad es la responsable de fenómenos a gran escala como la evolución de las especies y de otros de trascendencia menor, pero no menos importantes, como las características diferenciales entre individuos de una misma especie (Torrades, 2002). Aproximadamente el 99.9% de la secuencia del ADN de dos individuos diferentes es la misma, pero una proporción significativa de las diferencias encontradas en los individuos, es decir, sus diferencias fenotípicas y/o susceptibilidades a ciertas enfermedades, radica en el 0.1% de variación; y es a este tipo de variaciones genéticas a

las que se les conoce como polimorfismos genéticos, los cuales representan diferentes formas en las secuencias de ADN (Caratachea, 2007). Se han revelado, con el pasar de los años, la existencia de aproximadamente 10 millones de polimorfismos de nucleótido sencillo (PNS o SNP, del inglés single nucleotide polymorphism) (Caratachea, 2007).

3.1.2 GENÉTICA Y DEPORTE

Múltiples investigaciones han buscado determinar cuáles son los genes implicados en las diferentes características fenotípicas de la condición física del ser humano. Cada uno de los genes hallados han sido publicados periódicamente en el mapa del gen humano para los fenotipos de rendimiento y fitness relacionados con la salud (Sánchez *et al.* 2009). Las primeras investigaciones relacionadas con el rendimiento físico iban encaminadas a conocer el porcentaje de heredabilidad de algunos fenotipos como el VO₂max, fibras musculares, algunas estructuras del corazón, entre otras (Bouchard, Rankinen, & Timmons, 2011). Miyamoto-Mikami *et al.* (2017), explicaron que “La heredabilidad es un índice que muestra qué parte de la variación en un rasgo se debe a la variación en los factores genéticos, y que dichos valores oscilan entre 0% (0,00) y 100% (1,00)” (p. 835). Por ejemplo, se ha estimado en un 66% (0,66) la heredabilidad del estado del atleta (Fang Ma *et al.* 2013).

Uno de los estudios más importantes relacionados con la heredabilidad de fenotipos, realizado por Bouchard *et al.* (1992), tenía como principal objetivo, estudiar el papel del genotipo (hace referencia a todo el material genético del individuo) en las diferentes repuestas fisiológicas al ejercicio físico. Una de sus justificaciones era que se creía que los genes desempeñaban un papel importante en la determinación de los beneficios generales y mejoras en el rendimiento. A partir de este proyecto, denominado el HERITAGE family study, publicado en 1995, se han desarrollado más de 180 publicaciones (hasta 2018) que relacionan la actividad genética con el rendimiento

deportivo y otras áreas de la salud. En la siguiente tabla se muestra el valor porcentual de heredabilidad que tienen algunos fenotipos ligados al deporte (Tabla 1).

Por otra parte, Miyamoto-Mikami *et al.* (2017), realizaron una revisión sistemática y un metanálisis sobre la heredabilidad de varios fenotipos relacionados a la resistencia, en donde hallaron las medias ponderadas de la heredabilidad de los valores absolutos máximos de $\dot{V}O_2$ y los ajustados según el peso corporal y la masa libre de grasa de varios estudios, los resultados fueron de 0,68 (IC 95%: 0,59-0,77), 0,56 (IC 95%: 0,47-0,65) y 0,44 (IC 95%: 0,13-0,75), respectivamente. Para los fenotipos de resistencia submáxima y el rendimiento de resistencia, la heredabilidad media ponderada fue 0,49 (IC del 95%: 0,33 0,65) y 0,53 (IC del 95%: 0,27 a 0,78), respectivamente. Es decir que una persona puede heredar de sus padres un porcentaje superior al 50% para el desempeño de la capacidad de resistir.

En otra línea de investigación los estudios de genética buscan la asociación de un gen candidato con los fenotipos de la condición física, y a partir de eso se intenta estudiar las variaciones más comunes del gen (alelos) en número de sujetos (Muniesa, 2011).

En este sentido, Ahmetov & Fedotovskaya (2015), revelaron en una revisión literaria que al menos 120 marcadores genéticos (localizados dentro de 53 genes autosómicos, ADN mitocondrial (ADNmt) y cromosoma Y) están vinculados a la condición del atleta de élite. Encontraron que varios de estos marcadores genéticos están relacionados con la potencia / fuerza: ACE D, ACTN3 Arg577, AMPD1 Gln12, HIF1A 582Ser, MTHFR rs1801131C, NOS3 rs2070744 T, PPARG 12Ala) y otros, relacionados con la resistencia: ACE I, ACTN3 R577X, PPARA rs4253778 G, PPARGC1A Gly482, todos estos mostrando asociaciones positivas con el rendimiento (Stucky, 2018). También han sido relacionados varios genes (COL1A1, COL5A5,

TNC, 5HTT, BDNF, UCP2) con el aparato tendinoso y capacidades psicológicas (Lippi, Longo, & Maffulli, 2010).

1. Porcentaje de Heredabilidad de Varios Fenotipos Ligados al Deporte. Adaptado de Bouchard et al. (2011)

| <u>Indicador/Capacidad</u> | <u>% Heredabilidad</u> |
|---|------------------------------------|
| Resistencia | 50% |
| Consumo máximo oxígeno (Vo2max) | 51% |
| Capacidad submáxima | Entre 29%-70% |
| Estructuras del corazón (Exceptuando diámetro ventrículo izquierdo) | Entre 29%-68% |
| Masa del ventrículo izquierdo | 39 % en hombres/ 69% en mujeres |
| Volumen sistólico/Gasto cardiaco | 49% |
| Resistencia muscular | 21% |
| Fuerza muscular | 30% |
| Fibras musculares tipo 1 | 45% |

3.1.3 ENZIMA CONVERTIDORA DE ANGIOTENSINA (ACE)

El ACE (por sus siglas en inglés) es una enzima que regula el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA); y gracias a su activación, la angiotensina I (AT I) se convierte en angiotensina II (AT II), que es conocida por su función vasoconstrictora (Moya *et al.* 2012). Además, la ACE también inactiva a la bradiquinina, que es un potente vasodilatador. En este orden de ideas, los niveles de bradiquinina están inversamente relacionados con la actividad de la ACE. Es así que, el aumento de la actividad de la ACE impulsa respuestas hipertensivas y disminuye las respuestas hipotensoras (activación reducida de BK2R), desempeñando así, un papel crucial en la regulación de la presión arterial humana y la homeostasis de sal y agua (Puthuchearry *et al.* 2010). Además, el SRAA actúa a través de otros tejidos como un sistema paracrino / autocrino, y se ha informado de su actividad local en el corazón, el tejido adiposo y el músculo esquelético (Sgourou *et al.* 2012).

El ACE se define por la presencia (inserción, alelo I) o la ausencia (delección, alelo D) de un Fragmento de 287 pb. Por lo tanto, existen tres variantes genotípicas para el: II, ID y DD. El gen de la enzima convertidora de angiotensina, es uno de los polimorfismos genéticos más estudiados y ampliamente asociados con el rendimiento deportivo en la última década (Sgourou *et al.* 2012), el alelo I ha sido altamente relacionado al rendimiento en deportes de resistencia, mientras que al alelo D lo relacionan con el rendimiento en deportes de fuerza/potencia (Jones *et al.* 2002). En ese sentido, Holdys *et al.* (2011) analizaron el polimorfismo del gen ACE en relación con el nivel de condición física de varios deportistas universitarios (n= 239), medido a través de la absorción máxima de oxígeno (VO₂max), y encontraron un efecto muy ventajoso del alelo I con relación a los valores más altos del consumo máximo de oxígeno de los atletas estudiados, y, además, encontraron una distribución característica de los genotipos, en donde el alelo I era más

común en individuos que practicaban deportes aeróbicos y el alelo D en individuos de disciplinas anaeróbicas.

3.2 ANTECEDENTES

La estructura genética del ser humano no solo determina el color de ojos o del cabello de las personas, sino también cada uno de los procesos metabólicos que se llevan a cabo dentro del cuerpo. Cuando se examinan estas predisposiciones, se llega a entender que la edad, el género, las características anatómicas y fisiológicas, el sistema nervioso, toda la estructura cardiovascular y las habilidades biomotoras básicas y auxiliares, dependen del componente genético de cada individuo, lo cual también determinaría el rendimiento deportivo de los sujetos (Ozveren *et al.* 2014).

Dentro del panorama histórico, es importante mencionar que la primera evidencia de que el gen ACE podría tener un efecto sobre factores fisiológicos (VO₂max para este caso) en el ser humano, fue el trabajo de Montgomery *et al.* (1997), en donde evidenciaron que el gen ACE tuvo un efecto sustancial en el aumento de la masa del ventrículo derecho obtenido a través de un entrenamiento básico militar. Por otro lado, el primer estudio que evaluó el gen en atletas de elite, fue el que realizaron Gayagay *et al.* (1998), en remeros olímpicos, siendo en este estudio donde se planteó por primera vez la hipótesis de que el alelo ACE I y el genotipo II podrían predisponer a un mejor rendimiento en deportes de resistencia (Hagberg *et al.* 2001).

Matviev & Navarro citados en García-Verdugo (2007), afirman que en capacidades físicas como la resistencia pueden influir factores de muy diversa índole entre las cuales se encuentra la cardiocirculatoria compuesta por la capilarización, volumen sanguíneo, tamaño y fuerza del corazón. Por otra parte, el aumento del gasto cardiaco que indica la cantidad de sangre que moviliza

el corazón por unidad de tiempo, se produce por el incremento de la frecuencia cardiaca y el volumen sistólico. En deportistas de resistencia se observan volúmenes sistólicos mayores que en el resto de población. Lo que no está claro es que si ese mayor volumen de debe a las adaptaciones producidas por el entrenamiento o en parte a la genética.

Con relación a esto último, en una revisión sistemática (Puthuchearry *et al.* 2011), se determinaron varias asociaciones del ACE I/D con algunas respuestas fisiológicas que están ligadas a la resistencia, por ejemplo, el alelo ACE I se asocia con la respuesta de un crecimiento cardiaco más bajo, con el predominio de fibras musculares tipo I (resistentes a la fatiga) y también está asociado a una mejor respuesta ventilatoria a la hipoxia aguda. El crecimiento del ventrículo izquierdo se asocia al alelo ACE D y también con una mayor fuerza del cuádriceps (Figura 4).

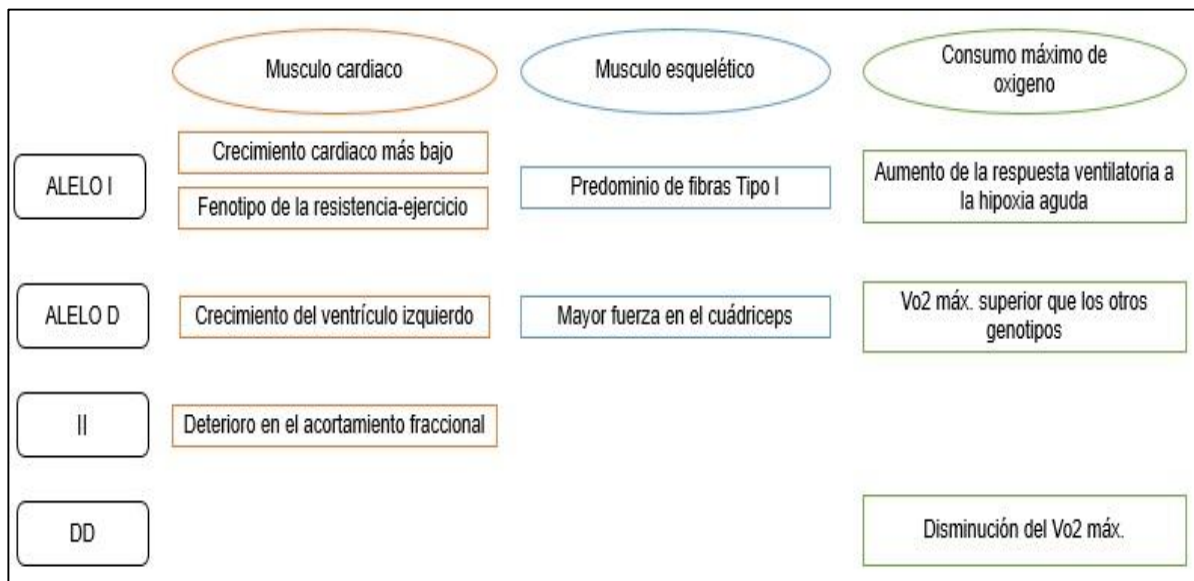


Figura 4. Respuestas fisiológicas ligadas al polimorfismo ACE I/D

3.2.1 Polimorfismo ACE y rendimiento en deportes de resistencia

Pauluaskas *et al.* (2009) evaluaron las diferencias en las frecuencias y distribución de los genotipos y alelos del gen ACE en una población de 139 deportistas y 166 personas sedentarias (grupo control) lituanos. Los deportistas fueron separados por grupos dependiendo de su modalidad (Resistencia, Fuerza, deportes acíclicos y cíclicos). Los resultados encontrados, expusieron que alelo I se encontraba mucho más en el grupo de deportistas que en el grupo control (52% vs 42%), mientras que el alelo D obtuvo mayor frecuencia en el grupo control (58% vs 48%). En cuanto a las frecuencias genotípicas, el genotipo DD fue 13% mayor en el grupo control, mientras que los genotipos ID e II fueron 6% y 7%, respectivamente, mayores en el grupo de deportistas. Los resultados específicos en el grupo de deportistas de resistencia (n=81), indicaron mayores frecuencias para el alelo I y el genotipo ID (I= 60% vs D= 40%); (ID = 50%; II = 30%; DD = 20%). En cuanto a los deportistas de fuerza no hubo diferencias entre las frecuencias alélicas (alelo I=50% vs alelo D=50%) y en las frecuencias genotípicas el genotipo ID obtuvo el mayor porcentaje (ID=40%; DD=30%; II=30%). De acuerdo a los resultados, sugirieron que el alelo I y el genotipo ID influían positivamente en el rendimiento en deportes cíclicos y de resistencia.

Por otro lado, Shenoy *et al.* (2010) realizaron un estudio en triatletas de la india (24 atletas y 101 controles), en el que encontraron una mayor frecuencia del alelo I (I= 85% vs D= 15%) y del genotipo II en el grupo de triatletas.

Holdys *et al.* (2011) realizaron un estudio que analizó el polimorfismo en relación con el nivel de aptitud física, medido por la absorción máxima de oxígeno (VO₂max). El estudio se llevó a cabo en un grupo de 154 hombres y 85 mujeres polacos. Los resultados arrojaron que el alelo I tenía un efecto benéfico sobre los valores máximos del VO₂max y, también, se encontró una distribución característica de los genotipos, donde el genotipo II

era más común en individuos que practicaban deportes aeróbicos y el genotipo DD en individuos que entrenaban disciplinas anaeróbicas.

En Polonia, Orysiak *et al.* (2013), evaluaron la relación entre el polimorfismo ACE I/D y la capacidad aeróbica en atléticas de rendimiento en deportes de invierno enfocados a la resistencia, en dicho estudio se evaluaron 66 atletas muy bien entrenados (mujeres 26 y hombres 40). Observaron 3 aspectos diferentes, el consumo máximo de oxígeno (VO₂max), la velocidad máxima de carrera (V_{max}) y la velocidad de carrera en el umbral anaeróbico (VAT₄), las cuales se determinaron en una prueba incremental de agotamiento volitivo en una cinta de correr motorizada. Los resultados arrojaron que no se encontró al polimorfismo ACE I/D como un determinante en la capacidad aeróbica de los atletas. También en Polonia Jastrzebski *et al.* (2014), evaluaron a 121 atletas polacos en contraste con 115 personas que sirvieron como grupo control, se encontró en la frecuencia de los genotipos en el grupo de atletas (30,6% II, 53,7% ID, 15,7% DD), esta frecuencia en comparación con el grupo control (19,1% II, 50,4% ID, 30,4% DD). La investigación corrobora que el alelo I del ACE está relacionado con el rendimiento de los atletas polacos.

Por otro lado, Znazen *et al.* (2015) realizaron un estudio con 282 atletas tunecinos, divididos en dos grupos, uno de atletas de resistencia y otro de atletas en deportes de potencia. El estudio fue contundente en cuanto a sus resultados, revelando así que los alelos de inserción (I) y deleción (D) están directamente relacionados con el rendimiento deportivo en atletas de resistencia y potencia.

4. METODOLOGÍA

Para la realización de este método, se usaron los criterios presentados en la declaración PRISMA (Urrutia & Bonfill, 2010) ítems utilizados como guía para esta revisión. (A partir del punto 4.4).

4.1 Tipo de estudio

Este trabajo tiene como fin inspeccionar las investigaciones publicadas y situarlas en cierta perspectiva, es decir, recopilar información ya existente sobre un tema, para proporcionar así, una visión sobre el estado problema elegido a tratar. (Alfonso, 2017). Específicamente las búsquedas de información del tema son acerca del polimorfismo ACE I/D y su influencia en deportes de resistencia.

4.2 Enfoque

En este trabajo se presenta un enfoque mixto, debido a que se recopila información de artículos en las diferentes bases de datos y los resultados se dan a conocer de manera analítica y estadística, junto con información que va acompañada de la cantidad de investigaciones que se encontraron en total, los funcionales, las frecuencias alélicas y genotípicas. La aproximación cualitativa evalúa el desarrollo natural de los sucesos, es decir, no hay manipulación ni estimulación de la realidad, mientras que el enfoque cuantitativo evalúa los resultados de las frecuencias alélicas y genotípicas. (Guajardo, & Castro, 2007).

4.3 Diseño

Se presenta un diseño de forma transversal (este recopila datos en un sólo momento, en un tiempo único). Siendo este el diseño pertinente a esta investigación gracias a la correlación de datos secundarios. (Reyes, 2013).

4.4 Criterios de elegibilidad

Para la realización de este estudio dos autores (WA y AE), evaluaron de forma independiente la elegibilidad de los estudios teniendo en cuenta los siguientes criterios inclusión:

i) Artículos donde el polimorfismo ACE I/D fuera objeto de estudio; ii) Estudios donde participaran deportista de resistencia, con prioridad en deportistas de elite; iii) Se consideró cualquier tipo de diseño investigativo (por ejemplo, transversal, longitudinal o experimental / cuasi-experimental); iv) Solo se incluyeron artículos en inglés; v) Estudios publicados en revistas Q1, Q2 y Q3 según plataforma Scimago. Se excluyeron trabajos no publicados, actas de conferencias y resúmenes. Por otro lado, los artículos se calificaron teniendo en cuenta los siguientes ítems de calificación:

2. Ítems para la clasificación de artículos

| ITEM | | CALIFICACIÓN |
|-------------------------|--------------------|--------------|
| Percentil de la revista | Q1 | 5 |
| | Q2 | 4 |
| | Q3 | 3 |
| Idioma | Inglés | 5 |
| | Español | 3 |
| Diseño investigativo | Experimental | 5 |
| | Cuasi-experimental | 4 |
| | Longitudinal | 3 |
| Atletas | Elite | 5 |
| | No elite | 3 |

4.5 Fuentes de información y búsqueda

La calidad de la información que sustenta el presente trabajo se hizo mediante una búsqueda detallada en las bases de datos pubmed, sportdiscus, scopus y sciencedirect, verificando siempre que los artículos hayan sido publicados en revistas Q1, Q2 y Q3 según la plataforma Scimago. Las palabras claves para la fórmula de búsqueda fueron: “ACE I/D polymorphism” y “endurance athletes”. La búsqueda bibliográfica se limitó a los estudios desde el 1 de enero de 2009 hasta el 31 de junio de 2019, ya que este marco de tiempo permite capturar investigaciones más recientes (Últimos 10 años) (Tabla 3).

En primer lugar, los artículos se excluyeron o si incluyeron tras pasar los siguientes filtros: i) Selección y eliminación de artículos en base al título y resumen. Cuando surgieron dudas o cuando no hubo información suficiente, se recuperó el texto completo para un análisis más profundo con el fin de emitir un juicio adecuado; ii) Eliminación de duplicados; iii) Selección y eliminación de artículos basados en el texto completo seleccionado en el paso 1 (fig. 5).

3. Bases de datos consultadas

| Base de datos | Ecuación utilizada | No. De artículos encontrados | No. Artículos de texto completo | |
|---------------|---|------------------------------|---------------------------------|--------|
| | | | Español | Inglés |
| Pubmed | ACE I/D polymorphism AND endurance athletes | 37 | 0 | 37 |
| Scopus | | 186 | 0 | 49 |
| Sportdiscus | | 256 | 0 | 61 |
| ScienceDirect | | 101 | 0 | 3 |
| | Total | 580 | | 150 |

4.6 Proceso de recolección de datos

Para este paso, toda la información fue resumida y organizada en la matriz de recolección de artículos (Tabla 4, lista de anexos), teniendo en cuenta las referencias (autor, año), tamaño de la muestra, deporte practicado por los deportistas, país, tipo de estudio y los resultados obtenidos para las frecuencias alélicas y genotípicas.

5. RESULTADOS

La búsqueda inicial arrojó un total de quinientos ochenta artículos que podrían ser potencialmente buenos para el estudio (Figura 5).

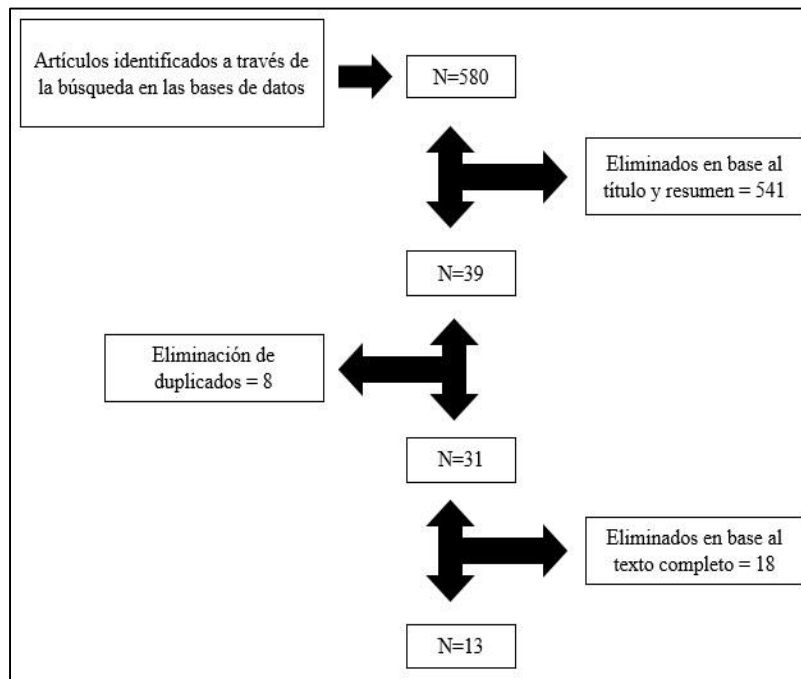


Figura 5. Flujograma de resultados

Después excluir artículos con base al título, al resumen y eliminar los artículos duplicados, todo se redujo a un total de trece artículos potencialmente buenos para este estudio.

Los trece estudios incluidos en este estudio tuvieron un diseño observacional analítico y utilizaron dentro de sus muestras deportistas de resistencia. Los tamaños de las muestras de atletas de resistencia variaron en todos los estudios, desde $n = 29$ (Shenoy *et al.* 2010) a $n = 149$ (Znazen

et al. 2015); Los demás estudios tuvieron un tamaño de muestra entre 30 y 121 atletas de resistencia.

De los trece estudios con relación al gen ACE I/D en atletas de resistencia, diez de estos reportaron las frecuencias (fr) alélicas del gen. Seis estudios reportaron mayor fr del alelo ACE I (inserción): (Pauluaskas *et al.* 2009; Shenoy *et al.* 2010; Tobina *et al.* 2010; Yusof *et al.* 2015; Jastrzebski *et al.* 2014 y Gronek *et al.* 2018), mientras que los otros cuatro estudios reportaron mayor actividad del alelo ACE D (Deleción): (Wang *et al.* 2013; Orysiak *et al.* 2013; Znazen *et al.* 2015 y Shamoradi *et al.* 2019). Observando los resultados en las fr alélicas de los estudios no se hallaron diferencias significativas entre estas, sin embargo, dos estudios reportaron una diferencia muy grande entre los alelos. Shenoy *et al.* (2010), reportaron mayor fr de Alelo ACE I (85%) y menor fr del alelo ACE D (15%); mientras que el estudio de Shamoradi *et al.* (2014) obtuvo resultados inversos, reportaron fr del alelo ACE I (36.49%), Alelo D (63.41%).

Por otro lado, todos los estudios reportaron las frecuencias genotípicas dentro de sus resultados. Nueve de los estudios reportaron una mayor frecuencia para el genotipo ID, mientras que el genotipo que reporto las frecuencias más bajas en la mayoría de estudios fue el genotipo DD; Solo en un estudio (Shamoradi *et al.* 2014), el genotipo DD fue el de mayor actividad. Tres estudios (Shenoy *et al.* 2010; Tobina *et al.* 2010 y Yusof *et al.* 2015) fueron los únicos que reportaron mayor frecuencia del genotipo II.

Los resultados indican que el 60% de los estudios que reportaron las frecuencias alélicas (10 estudios), el alelo ACE I, es el alelo determinante en los deportes de resistencia que se practicaban en los estudios. Y en relación a las frecuencias genotípicas, el 69% de los estudios indican una mayor actividad del genotipo ID, también siendo este, relacionado al rendimiento dichos deportes. Los promedios reportados para las frecuencias alélicas no fueron significativos,

pero fueron mayores para el alelo I (55% vs 45%) (figura 5). En cuanto a las frecuencias genotípicas el genotipo ID obtuvo el mayor promedio de los tres (ID=46%; II=32%; DD=22%) (figura 6).

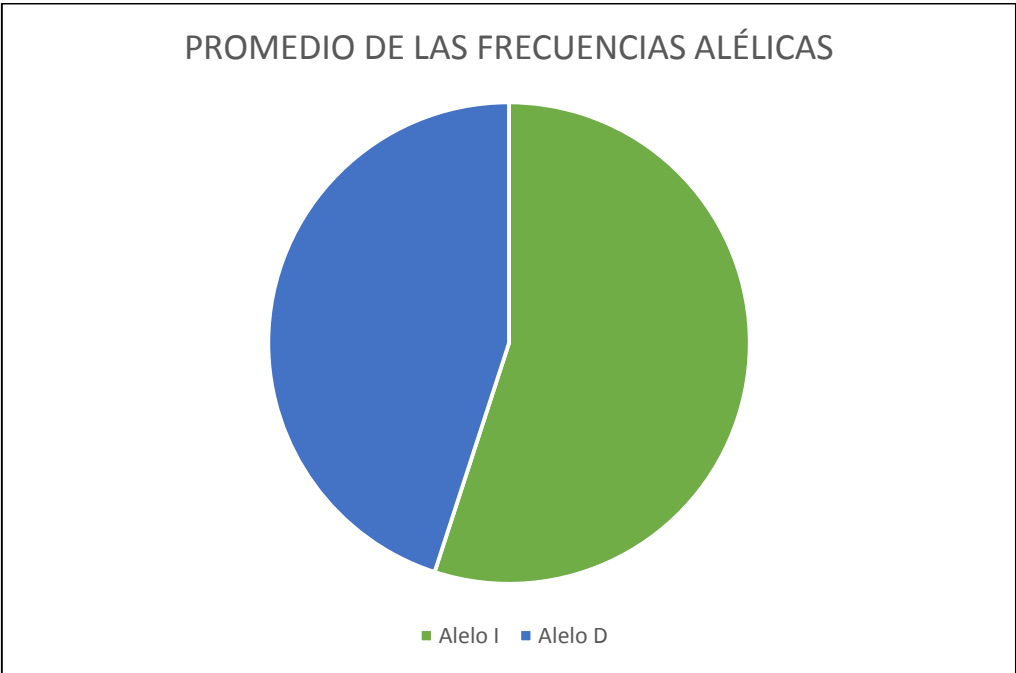


Figura 6. Promedio de las frecuencias alélicas reportadas en los estudios

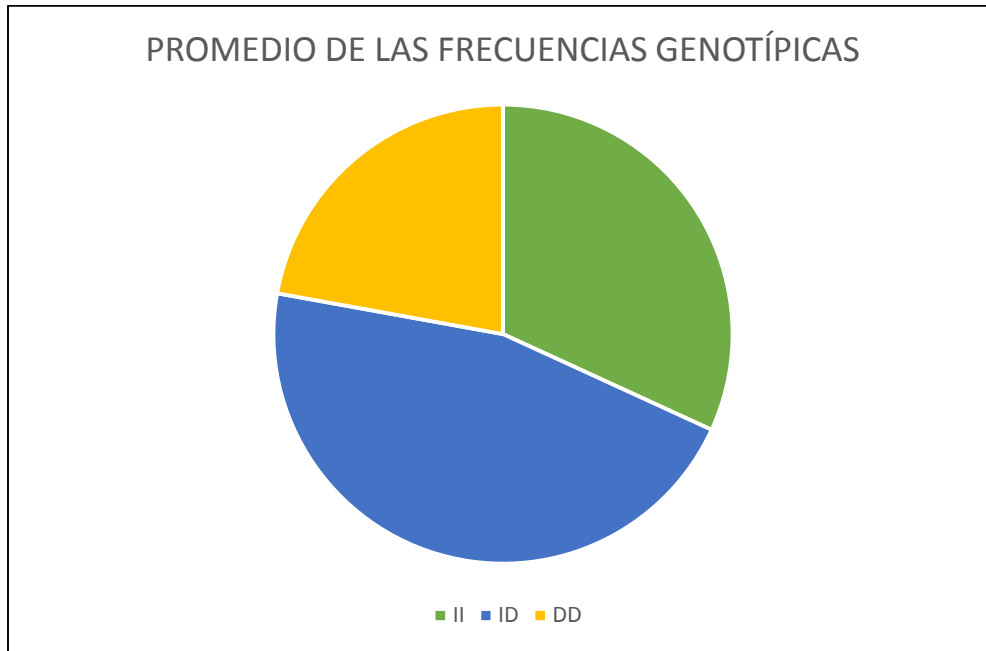


Figura 7. Promedio de las frecuencias genotípicas reportadas en los estudios

5.1 Análisis de las frecuencias alélicas entre atletas y grupos control

Ocho de los estudios reportaron las frecuencias alélicas para el grupo de atletas y los grupos controles. Al analizar estas, nos encontramos con una diferencia significativa en los promedios para el alelo I. En el grupo de atletas el promedio de la frecuencia reportada fue de un 55%, mientras que los grupos controles obtuvieron un promedio del 49%. Cabe resaltar que el grupo de atletas participantes de estos estudios, eran maratonistas, medio maratonistas, triatletas y remeros. Por otro lado, el alelo D obtuvo un mayor promedio de frecuencia para los grupos controles de los estudios, siendo esta 51% y un 45% para el grupo de atletas (figura 7).

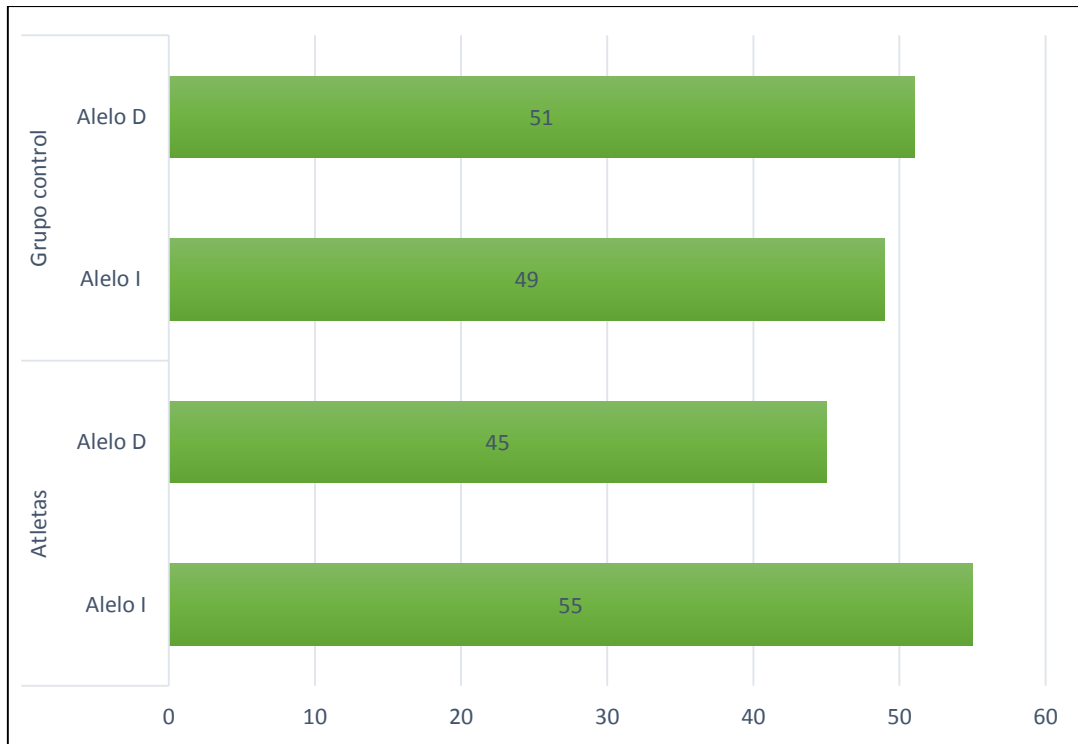


Figura 8. Promedios de las frecuencias alélicas de grupos atletas y controles de los estudios

5.2 Análisis de las frecuencias genotípicas entre atletas y grupos control

En cuanto a la comparación por frecuencias genotípicas los promedios arrojaron una similitud entre los resultados del genotipo ID, siendo un poco mayor para los grupos control. Se encontraron diferencias significativas para el genotipo II, en donde los grupos de atletas fueron superiores a los grupos controles (33% vs 24%). Para el genotipo DD el grupo control obtuvo mayor frecuencia, pero no muy significativa (figura 8).

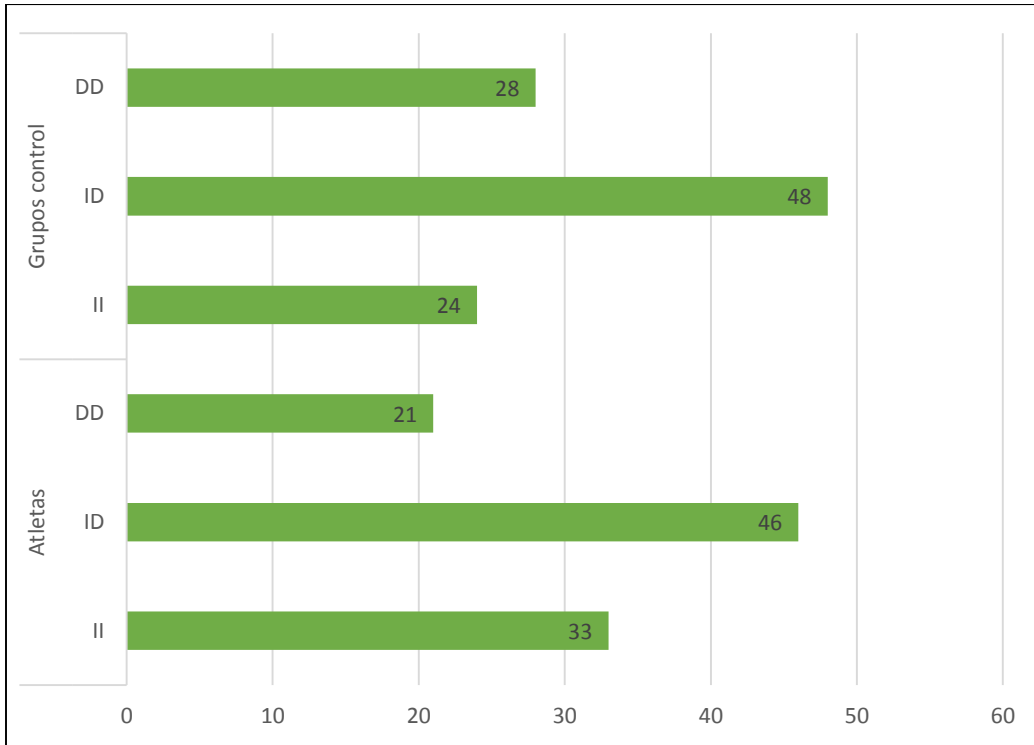


Figura 9. Promedios de las frecuencias genotípicas de grupos atletas y controles de los estudios

5.3 Análisis de las frecuencias alélicas y genotípicas por continente

Para este caso, los promedios para cada una de las frecuencias fueron divididas por grupos dependiendo del país de origen de los atletas participantes. De los trece artículos, ocho de estos trabajaron con atletas de países europeos, cuatro con asiáticos y uno con africanos. El promedio de las frecuencias alélicas fue mayor para el alelo I para el grupo de países europeos (53% vs 47%) y asiáticos, siendo este último el que reportó la mayor frecuencia (60% vs 40%). En el único estudio africano se observó al alelo D con mayor porcentaje (56% vs 44%) (figura 9).

El promedio de las frecuencias genotípicas arrojó para Asia una mayor frecuencia para el genotipo II. En cuanto al grupo Europa, la frecuencia de mayor promedio fue el genotipo ID, al igual que para el grupo África. Para el genotipo II el grupo Asia obtuvo mayor promedio de los tres, mientras que para el ID y el DD fue el grupo África (figura 10).

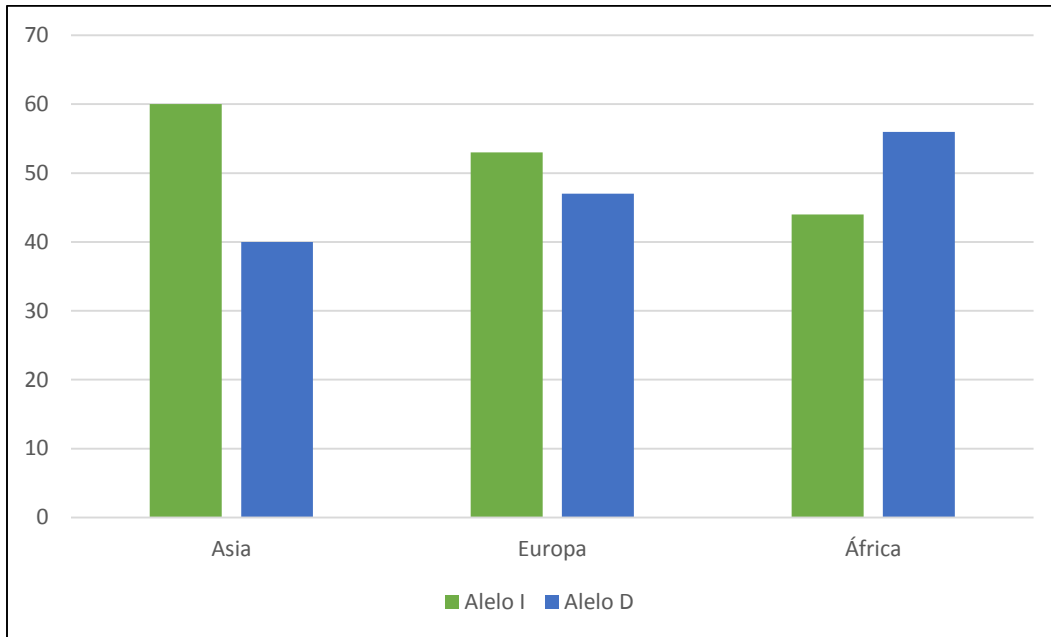


Figura 10. Promedio de frecuencia alélicas por continente

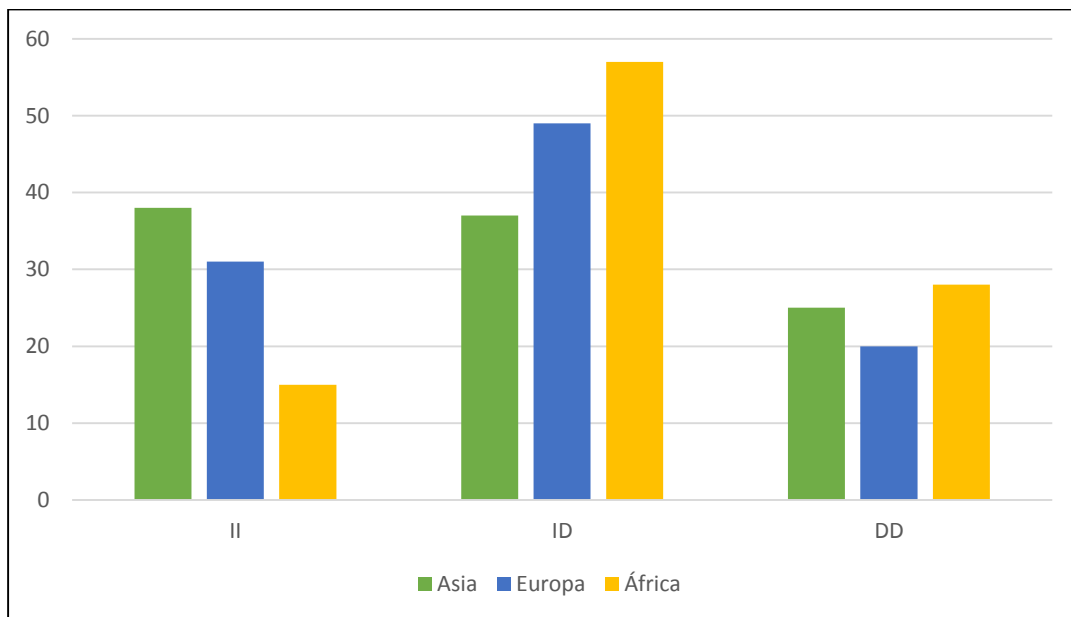


Figura 11. Promedio de frecuencias genotípicas por continente

6. DISCUSIÓN

La capacidad de la resistencia está influenciada por una multitud de factores, muchos relacionados a la función cardiovascular y el metabolismo celular. Dentro de todas estas, se incluye la proporción de fibras de contracción lenta y el factor del gasto cardiaco máximo que subyacen a la frecuencia máxima de consumo de oxígeno. Todos estos fenotipos están fuertemente influenciados genéticamente. Se ha establecido que alrededor del 40-50% de la varianza en la proporción de las fibras de contracción lenta están determinados genéticamente y que el $\dot{V}O_{2\max}$ y la potencia aeróbica tienen una alta heredabilidad (entre 0.5-0.8). En términos de genética deportiva, la resistencia sigue siendo el rasgo más estudiado, en donde se han revelado que al menos 77 marcadores están asociados con este fenotipo (Ahmetov & Fedotovskaya, 2015).

En este sentido, nuestro estudio buscó determinar la relación entre el polimorfismo ACE I/D y el rendimiento en deportes de resistencia. Un total de 13 estudios fueron elegidos como potencialmente buenos para esta investigación, en donde se buscaron trabajos publicados entre 2009 y 2019. Se encontraron asociaciones significativas para el alelo I y el genotipo ID.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio, evidencian que de los diez artículos que reportaron las frecuencias alélicas, el 60% hallaron una mayor actividad del alelo ACE I: (Pauluaskas *et al.* 2009; Shenoy *et al.* 2010; Tobina *et al.* 2010; Yusof *et al.* 2015; Jastrzebski *et al.* 2014 y Gronek *et al.* 2018). Es importante destacar que la población de atletas participantes de estos seis estudios, eran maratonistas, medio maratonistas, triatletas y un estudio que utilizó remeros profesionales. Los cuatro estudios restantes obtuvieron mayor actividad para el alelo ACE D y es interesante observar que los atletas participantes fueron nadadores de distancias \geq de 400 m (Wang *et al.* 2013); atletas profesionales en pruebas de invierno como el biatlón (Orysiak *et al.* 2013); ciclistas (Shamoradi *et al.* 2014) y un estudio que no especificó el deporte practicado

(Znazen *et al.* 2015). Muy probablemente a raíz de las disciplinas deportivas mencionadas, los resultados obtenidos variaron, el ACE I se reporta en pruebas que pueden ir entre los 20 km y más, mientras que de los estudios que reportaron el ACE D, únicamente podría decirse que el ciclismo sería un deporte de mayor recorrido, sin embargo, en el estudio no se establece un valor cuantitativo de la prueba. En esta investigación se encontró un promedio de frecuencias alélicas para el total de los estudios de 55%= Alelo I y 45% = Alelo D. Es entonces muy probable que el alelo I, beneficie el rendimiento en pruebas de resistencia.

Se ha planteado que para deportes de resistencia el genotipo II podría disponer un mejor rendimiento (Gayagay *et al.* 1998). Nuestro estudio, por el contrario, observo que el genotipo ID fue el que obtuvo el mayor promedio en nueve de los trece estudios totales. Tres estudios (Shenoy *et al.* 2010; Tobina *et al.* 2010 y Yusof *et al.* 2015) fueron los únicos que reportaron mayor frecuencia del genotipo II, mientras que tan solo un estudio (Shamoradi *et al.* 2014) obtuvo una mayor frecuencia para el genotipo DD, aunque no muy significativa. Es evidente que el genotipo DD, no está ligado directamente a el rendimiento en pruebas de resistencia, esto debido a que, en los estudios, obtuvo porcentajes menores al 29%, llegando a ser 6,12% el menor porcentaje reportado. Los resultados reflejados para los genotipos, dan al genotipo ID como la mayor opción para tener en cuenta en el rendimiento en deportes de resistencia. Los resultados obteniendo fueron 46%=ID, 32%=II y 22%=DD.

La gran mayoría de las investigaciones sobre el polimorfismo ACE ID deducen la relación positiva entre el polimorfismo con el estatus y el rendimiento deportivo a partir de la comparación de las frecuencias genotípicas y alélicas entre los grupos de atletas y los grupos controles. En este aspecto, concluyen que una menor frecuencia del genotipo DD y el alelo D en la población atleta, en relación a los grupos controles, es un indicador de la relación del polimorfismo con el rendimiento (en este caso con el fenotipo de la resistencia). Ahora bien, nuestros resultados

encontraron relaciones positivas para los promedios de las frecuencias del genotipo II en comparación con los grupos controles. Este genotipo para los grupos de atletas fue de un 33%, mientras que los grupos controles obtuvieron 24%. Con relación a las frecuencias alélicas, el alelo I obtuvo un 55% en el grupo de atletas y un 49% en los grupos controles. Sin embargo, los resultados destacan una mayor participación de genotipo ID en la mayoría de los estudios.

El análisis de los resultados por ubicación geográfica (continente), brinda primero un panorama sobre la situación de las investigaciones de este tipo en toda América, debido a que no se encontraron trabajos publicados con relación al polimorfismo ACE I/D en la población de atletas de resistencia. La mayoría de trabajos publicados se encuentran de Europa, Asia y África.

Nuestros resultados indican que el grupo de países asiáticos cuentan con la combinación alélica y genotípica planteada en nuestra hipótesis. Los promedios para ambas frecuencias fueron de 60%= Alelo I y 38%= II. Aunque no hubo una diferencia significativa para las frecuencias genotípicas en este grupo, se determina esta combinación como la mejor de todas. Los atletas de resistencia participantes de estos estudios, eran atletas de elites en maratón, ciclismo y triatlón.

El grupo de países europeos, obtuvo un mayor promedio para el alelo I, aunque la mayoría de estudios no reportaron las frecuencias alélicas y el promedio se obtuvo a partir de cinco estudios, y en donde los deportes practicados variaron. Para el caso del promedio de las frecuencias genotípicas el genotipo ID obtuvo un mayor porcentaje en este grupo, siendo significativamente mayor que los otros dos (ID=49%, II=31%, DD=20). La combinación para este grupo, sugiere al alelo I y al genotipo ID como posibles determinantes del rendimiento.

Los resultados para el grupo África se obtuvieron a partir del estudio de Znazen y col., (2015). Para este caso los resultados indicaron que el alelo D, será determinante para el rendimiento

en deportes de resistencia, teniendo un genotipo ID. Aunque estos resultados se sacan de un solo artículo, y se piensa que la población africana es la mejor en resistencia, cabe resaltar que el estudio no determino el deporte que practicaban los atletas y el estudio se realizó en Túnez, un país que no se reconoce por su potencial en estas disciplinas.

7. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- La evaluación de características genéticas dentro del proceso de selección científica deportiva, es una herramienta informativa que permite prever las condiciones futuras de un individuo y son de gran ayuda para que el tiempo de llegada al alto rendimiento sea más rápido y con altas probabilidades de éxito. En deportes de resistencia, el polimorfismo ACE I/D tiene una incidencia directa en el rendimiento de los atletas. Nuestros resultados permiten determinar que la combinación alelica y genotípica, teniendo en cuenta el promedio de toda la información recolectada, es la del alelo I y el genotipo ID (55% y 46%, respectivamente), estas serían las características genéticas a tener en cuenta en un deportista con condiciones para estas pruebas.
- Se clasificaron los resultados según el continente, dependiendo del país de origen de los atletas estudiados. Los resultados arrojaron a los asiáticos como los atletas con un perfil genético similar al planteado en la hipótesis, teniendo una mayor frecuencia alelica para el alelo I y una mayor frecuencia genotípica para el II. Para Europa la combinación sugiere al alelo I y el genotipo ID, mientras que para África sería el alelo D y el genotipo ID.
- La literatura encontrada permitió a los investigadores diseñar y proponer un modelo de selección deportiva teniendo en cuenta modelos de diferentes países y autores.

En Colombia son escasas las investigaciones de este tipo y sería un paso importante en nuestro desarrollo deportivo y en futuras líneas de investigación, poder determinar las características genéticas de nuestros deportistas y en este caso, los deportistas de elite en resistencia. En líneas generales estas investigaciones podrían ser de ayuda en la detección, selección y preparación de

nuevos talentos deportivos en el país por partes de Coldeportes Nacional, el Comité Olímpico Colombiano, las federaciones deportivas nacionales, y las demás organizaciones que hacen parte del sistema nacional de deporte. Así se contribuirá a mantener y mejorar los grandes logros deportivos conseguidos en los últimos años a nivel internacional.

8. APORTES

8.1 La genética en la detección y selección del deportista

La importancia de poseer ciertas características y una predisposición para el deporte de rendimiento, es cada vez mayor; estas características unidas al adecuado proceso sistemático orientado al desarrollo de las habilidades y capacidades del deportista, permitirán alcanzar los máximos resultados en la competición deportiva. Ahora bien, ¿cuál es el primer paso para encaminarse en ese proceso? En la literatura científica se evidencia un acuerdo en que la formación de los deportistas comienza con la detección/selección de ese sujeto especial, un proceso que ha representado, uno de los problemas más importantes de las distintas modalidades deportivas (Leiva, 2010).

En ese orden de ideas, la detección de un talento deportivo, tiene como objetivo principal predecir si un joven podrá desarrollar el potencial de adaptación al entrenamiento y que su capacidad de aprendizaje técnico, será el ideal para emprender las posteriores etapas del entrenamiento (Leger, 1986; Mahmoud & Fernández, 2009). Por otro lado, Platonov & Bulatova (2015), plantean que la selección deportiva es un proceso de constante búsqueda de las personas mejor dotadas, capaces de lograr grandes resultados, en una disciplina deportiva concreta.

La eficacia de la selección deportiva se evidencia en el éxito o fracaso final, y en este sentido Tudor Bompa (2007) nos explica los dos caminos de selección de sujetos, que se pueden evidenciar en el inicio del proceso de preparación deportiva. Estos caminos son, *La selección natural y la selección científica*. La primera representa lo que habitualmente se evidencia en países en vía de desarrollo; un niño o joven, que se inscriben en un deporte a causa de la tradición educacional, el deseo de los padres o la influencia del medio que los rodea. En este sentido, lo que el autor plantea, es que la evolución en el potencial y el aprendizaje, dependerá del hecho de que el individuo posea

o no, talento para ese deporte, lo que da como resultado, con mucha frecuencia, es que el proceso deportivo sea más lento y poco exitoso. En cambio, la selección científica tiene en cuenta las observaciones de los científicos del deporte, que a través de valoraciones específicas, tales como evaluaciones genéticas, antropométricas o los resultados obtenidos en baterías de test, determinen que los deportistas seleccionados poseen las aptitudes y características fundamentales para la práctica de un determinado deporte, lo que conlleva, a que el tiempo que requiere el individuo, para alcanzar el alto rendimiento, sea más corto, debido a ya que se determinaron ciertas aptitudes importantes.

En Colombia, por ejemplo, autores como Leiva (2010) han planteado varias manifestaciones de la selección deportiva, clasificandolas así:

- i. Selección natural o tradicional: La cual se cumple de forma espontánea a largo tiempo, no posee un criterio claro . Esta requiere de una gran inversión de recursos y en ella no se garantiza la consecución de logros.
- ii. Selección estructurada: Esta se plantea por etapas, posee tiempos determinados en los cuales se debe cumplir con ciertas tareas establecidas, dadas por los procesos de investigación.

Diversos autores (Manso, 1996; Bompa, 2007; Rees *et al.* 2016) proponen tener en cuenta los siguientes criterios a la hora de seleccionar un deportista: El componente hereditario en primer lugar, la edad biológica y edad óptima de selección, el estado de salud, los parámetros antropométricos, la composición muscular, el potencial de desarrollo de cualidades físicas y coordinativas, la predisposición al rendimiento, sus características psicológicas, las capacidades cognitivas, las características socioeconómicas y los antecedentes históricos. Es debido a tal magnitud de criterios específicos, que la selección científica o estructurada, por su mayor

acercamiento al éxito, representa el proceso óptimo a llevar a cabo en la identificación de los deportistas.

Bajo la génesis de estos conceptos y en forma de resumen, se pueden identificar varios componentes constitutivos a tener cuenta, que conducen a la ubicación del deportista como elemento de partida fundamental para garantizar la pertinencia del proceso de preparación deportiva. En primeras investigaciones, Ficher citado en Leiva (2010), estudió la talla en familiares de distinto grado de parentesco y concluyó que la herencia de la talla presenta una relación de $\frac{1}{4}$ con los abuelos, $\frac{1}{8}$ con los primos y $\frac{1}{2}$ con los padres, entonces, lo primero es establecer que las capacidades de heredabilidad manifestadas en el joven, por la transmisión de información proveniente de los progenitores, son de vital importancia, debido a que los padres hacen parte del historial deportivo del sujeto, debido a la presencia de rasgos variados de dichos sujetos. Otro componente, obedece netamente a las características específicas y propias del individuo frente a una actividad deportiva (figura 1). Cabe resaltar que el estudio de factores hereditarios se está empleando mundialmente en la práctica de la Detección/selección deportiva, posibilitando así, la opción más adecuada para llevar a cabo procesos de especialización en el deporte, con una perspectiva en la optimización del talento individual (Rolim, 2007).

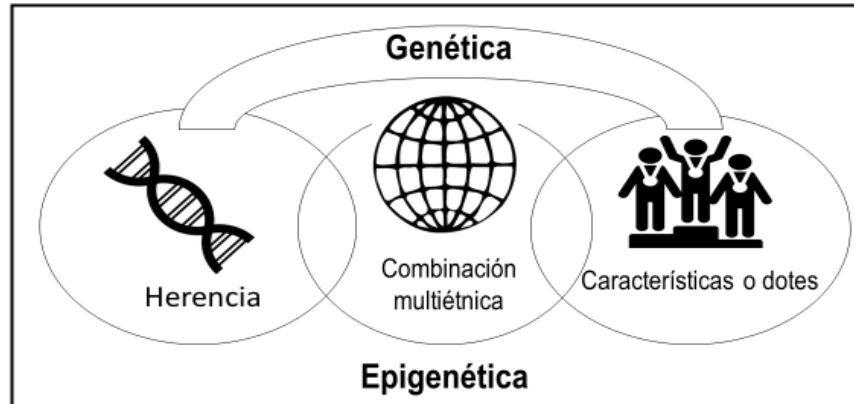


Figura 12. Componentes participantes en la selección deportiva (elaborado por los autores)

8.2 Propuesta Modelo de identificación de talentos

La siguiente propuesta surge a través del desarrollo del proyecto, en donde pudimos evidenciar la necesidad de establecer la evaluación de variables y características genéticas dentro del proceso de identificación de talentos deportivos. Los modelos generalmente presentan a la identificación de talentos como un proceso que depende de aislamiento y de pruebas determinantes de rendimiento (Salmela & Regnier, 1983 en Hugo, 2004). Sin embargo, hay otras características importantes a tener en cuenta, en nuestro caso, el componente hereditario. Este modelo recopila información de otros modelos ya propuestos (Bar Or, 1975; Gimbel, 1976, Jones & Watson, 1977; Harre, 1982; Bompa, 1985; Regnier, 1987; Rusell, 1987; Hebbelinck, 1988; Hugo, 2004), tomamos cada uno de los datos semejantes de cada autor y se diseñó la estructura (figura 8).

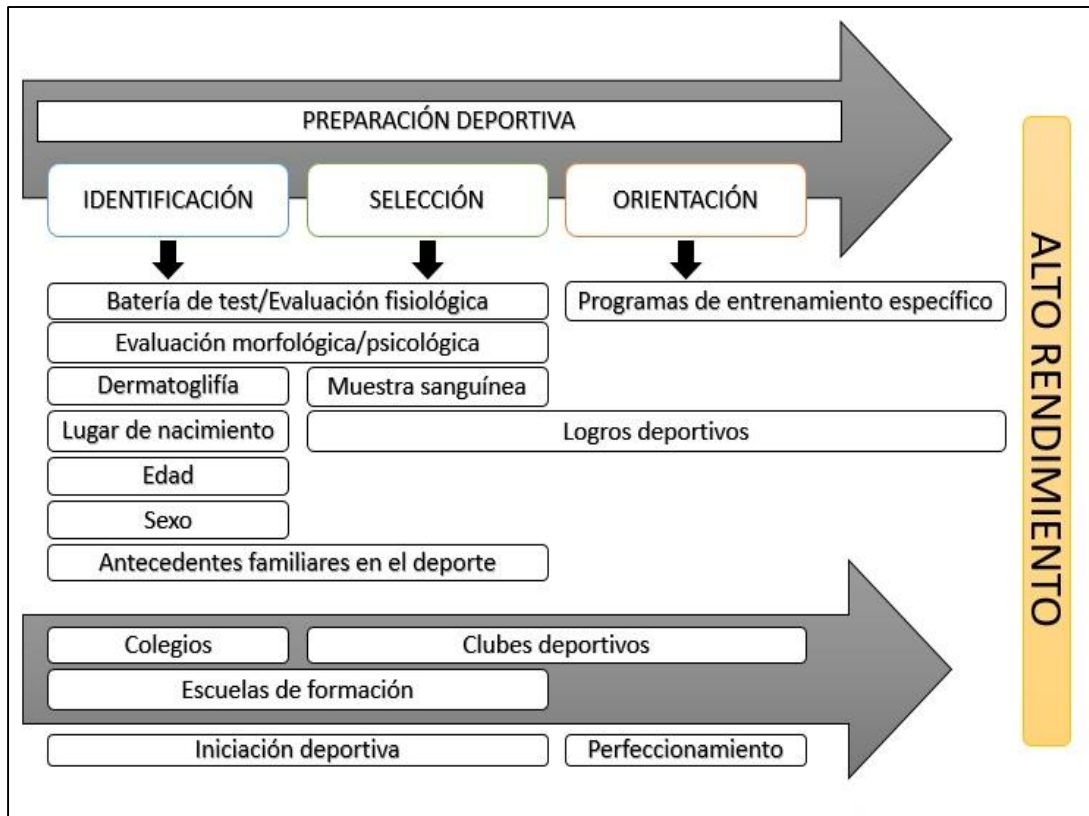


Figura 13. Modelo de selección deportiva

Para el entendimiento del modelo es importante explicar la razón por la cual algunos ítems hacen parte de este modelo.

El modelo tiene en cuenta los procesos genéticos en dos etapas importantes, que se evidencian en la etapa de iniciación deportiva de atleta. Sugerimos la dermatoglia como proceso inicial durante la identificación, debido a que es un procedimiento mucho más sencillo, no es invasivo y puede hacerse en las escuelas de formación y colegios. En segundo lugar, determinamos la toma de muestras sanguíneas, que serían un punto importante en el proceso deportivo, pero cuando el deportista haya recorrido objetivos anteriores. Todo el proceso está acompañado de múltiples procedimientos y etapas, que se deben trabajar en conjunto, como propuso Bompa (2007) la selección científica es la clave más cercana al éxito deportivo.

De igual manera un test es una prueba que mide las condiciones físicas de la persona para cualquier modalidad deportiva, que por lo general mide las capacidades físicas básicas. De igual manera una batería es la agrupación de varios test, ya sea para medir la totalidad de las capacidades físicas o profundizar en una de ellas. Un test debe tener 3 aspectos de relevancia para poder ser tenido en cuenta; 1. Estandarización, consiste en que haya una metodología clara. 2. Validez, un test se considera válido cuando ofrece una cantidad de información útil sobre la capacidad física. 3. Confiabilidad, este se vuelve confiable cuando al aplicar el test varias veces los resultados no varían en demasía y cualquiera puede ser tomado como resultado del test.

Por otro lado, en cuanto al lugar de nacimiento. Existe evidencia de que el tamaño de la ciudad en donde el atleta pasa sus años de desarrollo y crecimiento puede afectar la probabilidad de poder alcanzar el alto rendimiento. Rees et al. (2016), mencionan que en comunidades pequeñas y mediana (alrededor de 30,000- 1, 000,000 de habitantes) las oportunidades para el éxito deportivo son mayores, aunque esto puede variar debido a que una ciudad mediana puede considerarse pequeña o grande. Según los datos de la investigación (Reino Unido), es mucho más probable que en áreas con poblaciones de 10,000 y 29,999 produzcan atletas olímpicos y que áreas entre 500,000 y 999,999 estén en desventaja.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmetov, I., & Fedotovskaya, O. (2015). Current Progress in Sports Genomics. *Advances in Clinical Chemistry*, 249-298.
- Ahmetov, I., & Fedotovskaya, O. (2015). Current Progress in Sports Genomics. *Advances in Clinical Chemistry*, 249-314.
- Alfonso, A. (2017). La escritura científica: Una revisión temática. . *Signo y Pensamiento*, 36(71), 52.
- Avella, R., & Medellin, J. (2013). Perfil dematoglífico y somatotípico de atletas de la selección Colombia de atletismo (velocidad) participante en los juegos panamericanos Guadalajara 2011. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* , 17 - 25.
- Bar-Or, O. (1975). Predicting athletic sport performance. *Physician and Sport Medicine*, 81-85.
- Bohme, M. (1994). Talento esportivo I- Aspectos teóricos. *Revista Paulista de Educação Física- Universidade de São Paulo*, n. 2: 91.
- Bompa, T. (2007). *Periodization. Theory and Methodology of training*. Barcelona: Hispano Europea S.A.
- Bouchard, C., Leon, A., Rao, D., Skinner, J., Wilmore, J., & Gagnon, J. (1995). The HERITAGE Family Study: Aims, design, and measurement protocol. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 721-729.
- Bouchard, C., Rankinen, T., & Timmons, J. (2011). Genomics and Genetics in the Biology of Adaptation to Exercise. *Compr Physiol.*, 1603-1648.

- Caratachea, M. (2007). Polimorfismos genéticos: Importancia y aplicaciones. *REV INST NAL ENF RESP MEX*, 213-221.
- Clarke- Jansen, A., Fredriksen, P., Lilleby, V., & Mengshoel, A. (2005). Effects of supervised aerobic exercise in patients with systemic lupus erythematosus. A pilot study. *Arthritis Rheum. Arthritis & Rheumatism*, 308 –312.
- Dantas, E. H. (2012). *La practica de la preparación Física* . España: Paidotribo.
- Dominguez, O., & Duvergel, Y. (2014). Tests para la selección de posibles talentos deportivos en el área de medio fondo para ingresar a la categoría juvenil. *Efdeportes Revista digital*. Recuperado el 22 de 10 de 2019, de <https://www.efdeportes.com/efd203/test-para-la-seleccion-de-talentos-en-medio-fondo.htm>
- Eider, J., Cieszczyk, P., Ficek, K., Leonska-Duniec, A., Sawczuk, M., Maciejewska-Karlowska, A., & Zarebska, A. (2013). The association between D allele of the ACE gene and power performance in Polish elite athletes. *Science & Sports*, 325-330.
- García-Verdugo, M. (2007). *Resistencia y Entrenamiento. Una Metodología Práctica*. Barcelona: Paidotribo.
- Gayagay, G., Yu, B., Hambly, B., Boston, T., Hahn, A., Celermajer, D., & Trent, R. (1998). Elite endurance athletes and the ACE I allele- the role of genes in athletic performance. *Hum. Genet*, 48-50.
- Grenda, A., Leńska-Duniec, A., Kaczmarczyk, M., Ficek, K., Król, P., Cięszczyk, P., & Żmijewski, P. (2014). Interaction Between ACE I/D and ACTN3 R557X Polymorphisms in Polish Competitive Swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 127-136.

- Gronek, O., Gronek, J., Lulińska-Kuklik, E., Spieszny, M., Niewczas, M., Kaczmarczyk, M., . . . Żmijewski, P. (2018). Polygenic Study of Endurance- Associated Genetic Markers NOS3 (Glu298Asp), BDKRB2 (- 9/+9), UCP2 (Ala55Val), AMPD1 (Gln45Ter) and ACE (I/D) in Polish Male Half Marathoners. *Journal of Human Kinetics*, 87-98.
- Guajardo, E., & Castro, A. (2007). La investigación cualitativa, una discusión presente. *Liberabit*, 13, 63-69.
- Hagberg, J., Moore, G., & Ferrell, R. (2001). Specific Genetic Markers of Endurance Performance and Vo2Max. *Sport Sci. Rev.*, 15-19.
- Hernandez, H. (2015). *Talentos deportivos: Detección, orientación y desarrollo*. Santiago: Universidad Miguel de Cervantes.
- Holdys, J., Kryściak, J., Stanisławski, D., & Gronek, P. (2011). ACE I/D gene polymorphism in athletes of various sports disciplines. *Human Movement*, 223-231.
- Jastrzebski, Z., Leonska-Duniec, A., Kolbowicz, M., & Tomiak, T. (2014). THE ANGIOTENSIN CONVERTING ENZYME GENE I/D POLYMORPHISM IN POLISH ROWERS. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 77-82.
- Jones, A., Montgomery, H., & Woods, D. (2002). Human Performance: A Role for the ACE Genotype? *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 184-190.
- Krebs, J., Goldstein, E., & Kilpatrick, S. (2012). *Lewin. Genes. Fundamentos*. Editorial Médica Panamericana S.A.; Edición: 2.
- Leger, L. (1986). Recerca de talents en esport . *Apunts*, 63-74.
- Leiva, J. H. (2010). *Selección y orientación de talentos deportivos*. Cali, Colombia: Kinesis.

- Lippi, G., Longo, U., & Maffulli, N. (2010). Genetics and sports. *British Medical Bulletin*, 27-47.
- Ma, F., Yang, Y., Li, X., Zhou, F., Gao, C., Li, M., & Gao, L. (2013). The Association of Sport Performance with ACE and ACTN3 Genetic Polymorphisms: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE* 8(1), e54685.
- Mägi, A., Unt, E., Prans, E., Raus, L., Eha, J., Verakšitš, A., . . . Kõks, S. (2016). The Association Analysis between ACE and ACTN3 Genes Polymorphisms and Endurance Capacity in Young Cross-Country Skiers: Longitudinal Study. *Journal of Sports Science and Medicine*, 287-294.
- Mahmoud, B., & Fernández, L. (2009). *La selección de talentos: el otro dilema conceptual y práctico para la gimnasia artística masculina*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2019, de Efdeportes: <http://www.efdeportes.com>
- Manso, J. G. (1996). *Selección de élites deportivos. En su planificación del entrenamiento*. Madrid, España: Gymnos.
- Martínez Laguna, L., Tamarit Medrano, R., & Rangel Mayor, L. (2012). El empleo de marcadores genéticos en el proceso de selección de talentos. *EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires.*, 17(171). Disponible desde Internet en: <http://www.efdeportes.com/efd171/marcadores-geneticos-en-seleccion-de-talentos.htm>.
- Miyamoto, E., Zempo, H., Fuku, N., Kikuchi, N., Miyachi, M., & Murakami, H. (2018). Heritability estimates of endurance-related phenotypes: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*, 834-845.
- Montgomery, H., Clarkson, P., Dollery, C., Prasad, K., Losi, M., Hemingway, H., . . . Humphries, S. (1997). Association of angiotensin-converting enzyme gene I/D

polymorphism with change in left ventricular mass in response to physical training.
Circulation, 741-747.

Moya, D., Madrigal, J., & Zalasar, L. (2012). Angiotensin Converting Enzyme Insertion/Deletion Polymorphism and its Association with Complications in Patients with type 2 Diabetes Mellitus. *Act. Med. Costarrisense*, 102-108.

Muniesa, C. (2011). Polimorfismos genéticos en el remo de alto rendimiento: Categoría de peso ligero masculino. *Universidad Europea de Madrir*, Tesis doctoral.

NHGRI. (s.f.). *Instituto Nacional de Investigación del Genoma Humano*. Recuperado el 22 de 05 de 2019, de <https://www.genome.gov/glossary/index.cfm?id=52&textonly=true>

Orysiak, J., Zmijewski, P., Klusiewicz, A., Kaliszewski, P., Malczewska-Lenczowska, J., Gajewski, J., & Pokrywka, A. (2013). THE ASSOCIATION BETWEEN ACE GENE VARIATION AND AEROBIC CAPACITY IN WINTER ENDURANCE DISCIPLINES. *Biol. Sport*, 249-253.

Ozveren, Y., Ozcaldiran, B., Durmaz, B., & Oral, O. (2014). Talent selection and genetics in sport. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 1-8.

Paulauskas, A., Danileviciutė, A., Povilaitis, T., & Poderis, J. (2009). GENETIC VARIABILITY ASSOCIATED WITH ANGIOTENSIN CONVERTING ENZYME (ACE) GENE POLYMORPHISM IN SPORTSMEN PURSUING DIFFERENT SPORTS. *PROCEEDINGS OF THE LATVIAN ACADEMY OF SCIENCES*, 9-13.

Pinheiro, R., & Fernandes, J. (2004). Identificação do perfil dermatoglífico de esgrimistas estrangeiros de alto rendimento das três armas, participantes do Campeonato Mundial de Esgrima. *Fitness & Performance*, 247-253.

- Platonov, V., & Bulatova, M. (2015). *Preparación de los deportistas de alto rendimiento*. Cali, Colombia: Universidad del Valle y U.D.C.A.
- Platonov, V., & Bulatova, M. (2015). *Preparación de los deportistas de alto rendimiento*. Cali, Colombia: U.D.C.A y UNIVALLE.
- Puthuchery, Z., Skipworth, J., Rawal, J., Loosemore, M., Van Someren, K., & Montgomery, H. (2011). The ACE Gene and Human Performance 12 Years On. *Sports Med*, 433-448.
- Rees, T., Hardy, L., Gullich, A., Abernethy, B., Cote, J., Woodman, T., . . . Warr, C. (2016). The Great British Medalists Project: A Review of Current Knowledge on the Development of the World's Best Sporting Talent. *Sports Med*, 1041–1058.
- Robles, R., Ayala, P., & Perdomo, S. (2012). Epigenética: definición, bases moleculares e implicaciones en la salud y evolución humana. *Rev. Cienc. Salud*, 59-71.
- Rolim, F. (2007). *Identificação do perfil dermatoglífico e somatotípico de pentatletas modernos brasileiros alto rendimento*. Brasil: Revista de Educação Física.
- Sánchez, J., Campuzano, Ó., & Iglesias, A. y. (2009). Genética y Deporte. *Apunts Med Esport*, 86-97.
- Sena, J., Gomez, A., Mimbacas, A., & Ferreira, U. (2012). Dermatoglyph, somatotype and body composition in beach handball: Comparative study among diferente level of sportive qualification. *Motricidade*, 567-576 .
- Sgourou, S., Fotopoulos, V., Kontos, V., Patrinos, G., & Papachatzopoulou, A. (2012). Association of genome variations in the reninangiotensin system with physical performance. *Human Genomics*, 6-24.

- Shahmoradi, S., Ahmadalipour, A., & Salehi, M. (2014). Evaluation of ACE gene I/D polymorphism in Iranian elite. *Advanced Biomedical Research*, 207-212.
- Shenoy, S., Tandon, S., Sandhu, J., & Bhanwer, A. (2010). Association of Angiotensin Converting Enzyme gene Polymorphism and Indian Army Triathletes Performance. *Asian Journal of Sports Medicine*, 143-150.
- Stucky, L. (2018). *Análisis exploratorio de la relación entre el polimorfismo ACTN3 R577X y el rendimiento deportivo en levantadores de pesas colombianos*. Bogotá: U.D.C.A.
- Tobina, T., Michishita, R., Yamasawa, F., Zhang, B., Sasaki, H., Tanaka, T., . . . Kiyonaga, K. (2010). Association between the angiotensin I-converting enzyme gene insertion/deletion polymorphism and endurance running speed in Japanese runners. *J Physiol Sci*, 325-330.
- Urrutia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clinica*, 507-511.
- Weineck, J. (2005). *Entrenamiento total*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Yusof, H., Singh, R., Zainuddin, Z., Rooney, K., & Muhammed, A. (2015). The angiotensin I-converting enzyme I/D gene polymorphism in well-trained Malaysian athletes. *Sport Sci Health*, 187-193.
- Znazen, H., Touhami, I., Chtara, M., Le Gallais, D., Ahmetov, I., Chamari, K., & Soussi, N. (2015). GENETIC ADVANTAGEOUS PREDISPOSITION OF ANGIOTENSIN CONVERTING ENZYME ID POLYMORPHISM IN TUNISIAN ATHLETES. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 24-30.

10. ANEXOS

4. Bibliometría

| N° | AUTOR (ES) | TÍTULO | RESULTADOS | | | | | País |
|----|------------------------------|--|------------|---------|-----|-----|-----|------------------|
| | | | Alelo I | Alelo D | II | ID | DD | |
| 1 | Pauluaskas et al., (2009) | Genetic variability associated with angiotensin converting enzyme (ACE) gene polymorphism in sportsmen pursuing different sports | 56% | 44% | 30% | 50% | 20% | Lituania |
| 2 | Shenoy et al., (2010) | Association of Angiotensin Converting Enzyme gene Polymorphism and Indian Army Triathletes Performance | 85% | 15% | 48% | 45% | 7% | India |
| 3 | Tobina et al., (2010) | Association between the angiotensin I-converting enzyme gene insertion/deletion polymorphism and endurance running speed in Japanese runners | 65% | 35% | 51% | 27% | 22% | Japón |
| 4 | Holdys et al., (2011) | ACE I/D gene polymorphism in athletes of various sports disciplines | NR | NR | 36% | 42% | 22% | Polonia |
| 5 | Wang et al., (2013) | Evaluation of ACE gene I/D polymorphism in Iranian elite athletes | 48% | 52% | 24% | 47% | 29% | Varios de Europa |
| 6 | Orysiak et al., (2013) | The association between ace gene variation and aerobic capacity in winter endurance disciplines | 46% | 54% | 21% | 50% | 29% | Polonia |
| 7 | Shamoradi et al., (2014) | Evaluation of ACE gene I/D polymorphism in Iranian elite athletes | 36% | 54% | 16% | 41% | 43% | Irán |
| 8 | Grenda et al., (2014) | Interaction Between ACE I/D and ACTN3 R557X Polymorphisms | NR | NR | 43% | 51% | 6% | Polonia |

| | | | | | | | | |
|----|----------------------------|---|-------|-------|-----|-----|-----|---------|
| | | in Polish Competitive Swimmers | | | | | | |
| 9 | Yusof et al., (2015) | The angiotensin I-converting enzyme I/D gene polymorphism in well-trained Malaysian athletes | 56% | 44% | 38% | 35% | 27% | Malasia |
| 10 | Znazen et al., (2015) | GENETIC ADVANTAGEOUS PREDISPOSITION OF ANGIOTENSIN CONVERTING ENZYME ID POLYMORPHISM IN TUNISIAN ATHLETES | 44% | 56% | 15% | 57% | 28% | Túnez |
| 11 | Jastrzebski et al., (2014) | The angiotensin converting enzyme gene i/d polymorphism in polish rowers | 57.4% | 42.6% | 31% | 54% | 15% | Polonia |
| 12 | Magi et al., (2016) | The Association Analysis between ACE and ACTN3 Genes Polymorphisms and Endurance Capacity in Young Cross-Country Skiers: Longitudinal Study | NR | NR | 30% | 53% | 17% | Estonia |
| 13 | Groniek et al., (2018) | Polygenic Study of Endurance- Associated Genetic Markers NOS3 (Glu298Asp), BDKRB2 (- 9/+9), UCP2 (Ala55Val), AMPD1 (Gln45Ter) and ACE (I/D) in Polish Male Half Marathoners | 54.6% | 45.4% | 32% | 46% | 22% | Polonia |