

UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

TESIS DE MAGÍSTER

Análisis de estrategia de carrera en subida a partir de dispositivos digitales

Autor:

Vicente José Soza Mirelis

Profesores guía:

Raimundo José Sánchez Undurraga

Tesis para optar al título de Ingeniería Civil Industrial con minor en Energía y al Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería

Facultad de Ingeniería y Ciencias

2021

UNIVERSIDAD ADOLFO IBÁÑEZ

Resumen

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Magíster en Ciencias de la Ingeniería y para el título de Ingeniero Civil Industrial con
mención en Energía

**ANALISIS DE ESTRATEGIA DE CARRERA EN SUBIDA A PARTIR
DE DISPOSITIVOS DIGITALES**

VICENTE JOSÉ SOZA MIRELIS

ÍNDICE

GLOSARIO	5
I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA U OPORTUNIDAD	6
II. INTRODUCCIÓN	7
III. HIPÓTESIS, OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE TRABAJO	11
3.1 Objetivo General:	11
3.2 Objetivos Específicos:	12
IV. METODOLOGÍA.....	13
4.1 Recopilación de los datos	13
4.2 Descripción de los datos	13
4.3 Metodología realizada.....	14
4.4 Resultados Esperados.....	15
4.5 Esquema Conceptual de Metodología	16
V. RESULTADOS.....	17
VI. DISCUSIÓN.....	23
VII. CONCLUSIÓN	25
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	27
IX. ANEXOS.....	28

GLOSARIO

- **Cadencia:** Cantidad de pasos que se ejecutan al correr.
- **Capacidades deportivas:** Condiciones o cualidades con las que cuenta un deportista para desarrollar una actividad.
- **Datos Maximales:** Datos que representan las mejores 2 carreras de cada corredor.
- **Dispositivos Digitales:** Aparatos que permiten la toma de datos logrando un seguimiento de los entrenamientos de los deportistas.
- **Estrategia de Carrera:** Estilo de carrera que tomará un deportista según las distintas pendientes y obstáculos a los que se encuentre.
- **Factor de equivalencia:** Equivalencia entre lo corrido en subida llevado a horizontal.
- **Pendiente de transición:** Pendiente en la cual un corredor cambia la estrategia de carrera de correr a caminar o viceversa.
- **Ritmo:** Velocidad media que se mantiene mientras se corre.
- **Ritmo ajustado a pendiente:** Velocidad media ajustada a pendiente.
- **Velocidad en ISO-Eficiencia:** Velocidad media de la mejor carrera registrada.
- **Costo de Velocidad:** Esfuerzo físico por el cual se somete un deportista para aumentar o disminuir su velocidad.
- **Stream:** Pequeños fragmentos de carrera que permiten visualizar cada instante de la carrera.

I. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA U OPORTUNIDAD

El Trail Running (TR) es un deporte que actualmente está tomando fuerza y está atrayendo cada vez a más adeptos. Pero, como todo deporte, tiene cosas buenas y malas. Por un lado, el TR representa un sinfín de beneficios para los deportistas, ya que, entrega la posibilidad de mejorar el estado físico como también de conocer nuevos lugares y conectarse con el medio ambiente. Ahora bien, es un deporte que no es fácil de realizar e implica generar estrategias de carrera que se ajusten a los distintos escenarios a los cuales un corredor se puede encontrar. Para esto, los dispositivos digitales entregan una alternativa conveniente para generar datos que muestren como se desarrolla un deportista o corredor en un entrenamiento o carrera determinada.

Ahora bien, el problema u oportunidad que este proyecto busca abordar es si se puede identificar la efectividad de las estrategias de carrera de subida a través de dispositivos digitales, ya que son estos los que entregan observaciones reales sobre los entrenamientos de los deportistas en TR.

Lo que se ha realizado hasta el momento referente a este deporte y las carreras en pendientes es que se ha investigado en ambientes controlados de laboratorio, lo cual presenta un gran problema para determinar de forma correcta una estrategia de carrera. Por este motivo, los dispositivos digitales presentan un avance frente a las investigaciones actuales. Por otro lado, los dispositivos digitales entregan diversas variables que son sencillas y fáciles de analizar. Gracias a estos aparatos podemos saber cómo fluctúa el ritmo cardíaco de un corredor, que ritmo, velocidad, zancada o cadencia sostuvo el deportista durante la carrera y muchas otras cosas.

Sabiendo que los dispositivos digitales proporcionan tales funciones, en este estudio se aprovechará todas las cualidades de dichos dispositivos para generar una metodología que logre establecer estrategias de carrera con las cuales un deportista pueda mejorar su rendimiento de carrera.

II. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha producido un gran incremento en el número de practicantes de running [1], pero no solo eso, sino que ha ido más allá y ha sucumbido al que se ha denominado, particularmente, el boom de las carreras de montaña o trail running [2]. Actualmente hay muchos factores que podrían explicar este boom, como, por ejemplo: el incremento de competiciones deportivas o el aumento de corredores. A pesar de no tener un indicio claro de esto, es evidente que esta adopción no parece ser una cuestión pasajera y, con toda seguridad nos encontramos ante el nacimiento de una nueva modalidad deportiva [3].

El TR es definido por la Asociación Internacional de Trail Running (Internacional Trail Running Association) como una carrera pedestre, abierta a todos, en un ambiente natural que combina montaña, bosque, llanuras, con una mínima parte en rutas asfaltadas o pavimentadas. Además, el terreno puede variar entre: senderos, bosques, simples caminos de tierra o polvo, piedras o cualquier superficie que se encuentre en la naturaleza y por la que se pueda correr. Teniendo esto en cuenta y gracias a las regiones montañosas de Chile, este deporte va adquiriendo cada vez más adeptos en nuestro país.

Además, el TR es un deporte que trae consigo un sin fin de beneficios que aportan al desarrollo muscular y al mejoramiento del estilo de vida. Particularmente, ayuda a mejorar la resistencia, aporta fuerza muscular, generar contacto con la naturaleza, conocer nuevos lugares, mejorar el ánimo, entre otros beneficios.

Ahora bien, este deporte requiere de cierta técnica frente a su desarrollo, ya que los terrenos por los que se practican muchas veces involucran factores externos que exigirán al corredor a que constantemente cambie su estrategia de carrera. Es por esto que, para evitar lesiones, la clave del éxito es la preparación [4]. En este sentido es importante saber que el perfil de las personas que realizan este deporte es mayoritariamente: varones entre 26 y 30 años, solteros, asalariados o docentes en Educación Física, con estudios universitarios y que realizan entrenamientos a diario. Dados esos perfiles, se podría pensar que son estos los que se accidentan más, no

obstante, no hay estudios que relacionen el perfil de los corredores con la propensión al accidente deportivo [5].

Es por lo anterior que es de crucial importancia la preparación y la realización de una estrategia de carrera acorde a las características y condiciones del atleta. Llamaremos estrategia de carrera a la realización de un entrenamiento bajo la regulación de ciertos parámetros relevantes, para que estos sean bien administrados y se logre una optimización directa en la carrera. En otras palabras, el tener una estrategia de carrera, optima e individualizada para cada atleta, lograría que estos puedan administrar de mejor forma sus capacidades deportivas y eviten lesiones al adaptar el entrenamiento frente a las distintas condiciones del terreno. Sin embargo, para esto, se necesitan análisis profundos tanto del deportista como del terreno.

Existen diversas investigaciones referentes a las estrategias de carreras de montaña. Dentro de estas destacan investigaciones como las de Padulo (2012) [6] el cual estudió la velocidad en ISO-Eficiencia en las carreras cuesta arriba y buscó el efecto que tienen las pendientes (0%, 2% y 7%) sobre la marcha de un corredor y logro capturar resultados muy interesantes, ya que introdujo temas como la velocidad de isoeficiencia, también considero costo energético, consumo de oxígeno, tiempo de contacto con el suelo, tiempo de vuelo, longitud de paso y frecuencia de paso. Con todo esto y generando estudios bajo velocidades de isoeficiencia a 65 corredores, concluyo que a medida que aumenta la pendiente, la velocidad “optima” disminuye, pasando incluso, de 15,83 km/h en 0% a 11,59 km/h a 7% de inclinación. Por lo tanto, la estrategia para reducir el costo energético, según Padulo, es reducir la velocidad. Sin embargo, con el aumento de la pendiente, el costo energético aumenta.

Lo anterior evidencia que es de crucial importancia para un deportista saber administrar “la energía” generando estrategias de carrera que puedan minimizar estos gastos.

Complementando a lo anterior surgen investigaciones como las de Lauenstein (2013) [7], el cual introdujo el concepto de factor de equivalencia (FE), que definió como la equivalencia entre lo corrido en subida llevado a horizontal. Llegó a determinar que el

FE promedio fue de 620 metros de carrera en plano por cada 100 metros de subida, lo que quiere decir que, si comparamos carreras en subida con carreras en plano, 620 metros en plano equivaldrían a correr 100 metros en subida.

Otra investigación importante fue la que realizó Giovanelli (2016) [8] en la cual se buscó identificar el rango de velocidades en donde se puede decir que es más eficiente caminar que correr para minimizar los gastos energéticos en carreras sobre pendientes. Para este estudio se seleccionaron 15 corredores y el estudio consistió en 3 sesiones, donde cada atleta debía correr a distintas velocidades y pendientes sobre cinta de correr. Aquí se logró concluir que el rango de pendientes donde los atletas ya empiezan a preferir caminar por sobre correr rodea los 15.8°.

Ahora bien, a pesar de que la literatura actual ha llegado a conclusiones claras y que entregan parámetros, rangos y resultados relevantes para el análisis de estos deportes, la gran mayoría de los estudios actuales han sido realizados en laboratorios, por lo que no cuentan con las condiciones reales en las cuales se desarrollan estos deportes, por ende, muchas de las conclusiones no tienen fundamentos reales frente a lo que puede suceder en un ambiente real. Dado esto, para generar una estrategia de carrera, no basta solo con un análisis de laboratorio, sino que se debe contar con datos individuales y realizados en ambientes reales de entrenamiento, ya que, en un trayecto de montaña, la pendiente no siempre es la misma, por lo que en un segmento de 1 kilómetro fácilmente se pueden tener diferencias de nivel bastante grandes y que deben ser analizadas de forma particular.

En la presente investigación, se estudiarán muchos parámetros que de una u otra forma afectan en la carrera de un atleta, como lo son *zancada*, *ritmo*, *calorías*, *potencia*, *tiempo o duración de la carrera*, *distancia*, *ritmo cardíaco*, entre otros. Pero hay 2 de estos parámetros que son fundamentales para generar un análisis claro y de valor frente al desarrollo de una buena estrategia de carrera, los cuales son: la *pendiente*, que es el eje principal de este deporte y por otro lado la *cadencia*, ya que esta nos ayuda a entender como un atleta modifica su estilo de carrera entendiendo el número de pasos que da.

Para todo lo anterior, se necesita la ayuda de dispositivos digitales, ya que son estos los que entregan los datos que posteriormente serán analizados. Tal como dicen Pérez y Requejo (2016) [9], donde apuntan a que cada vez se desarrollan más aplicaciones y dispositivos que permiten contrastar el entrenamiento diario y tener una información notable sobre el rendimiento y la progresión de los deportistas.

En este sentido, empresas como Apple, Google, Nike, Garmin, entre otras van a la vanguardia y han logrado identificar las necesidades de los usuarios creando dispositivos que ayudan a obtener datos de forma más sencilla y de mayor calidad [10].

Sabiendo lo anterior, el uso de dispositivos digitales como los relojes inteligentes, es prácticamente cómo correr con un *laboratorio de muñeca*, ya que, monitorea todos los movimientos del corredor y lo ayuda a, alcanzar sus metas, controlar el sueño, monitorear la quema de calorías, controlar ritmo cardiaco y recopilar datos útiles para la salud del usuario.

Por consiguiente, y a diferencia de los estudios actuales que se han realizado en ambientes controlados de laboratorio y con parámetros ya estipulados de pendiente y velocidad, este estudio se centrará en el análisis de datos reales recopilados por los mismos atletas a través de sus dispositivos digitales. Esto ayudará a entender de mejor manera la estrategia de carrera que adoptan los atletas frente a factores externos. Dicho esto, este trabajo generaría un gran aporte y ayudaría a complementar o contrastar investigaciones como las de Padulo y Giovanelli.

En resumidas cuentas, el Trail Running es un deporte que cada vez está teniendo más renombre dentro de la industria deportiva, ya que cada vez existen más personas que lo practican como también empresas que se están involucrando. Pero dentro de todo este boom, hay muchos puntos importantes que no se deben dejar de lado, ya que el TR no es un deporte tranquilo ni mucho menos sencillo y son muchos los parámetros que se deben analizar para responder, por ejemplo, ¿Cómo se pueden evitar las lesiones al practicar TR?, ¿Cuál es el parámetro más importante dentro del TR?, ¿Cómo se puede administrar de mejor forma el gasto energético de un deportista en pendientes elevadas?, ¿Existe realmente una estrategia optima general o tienen que ser

individuales?, ¿En qué rango de pendiente un deportista deja de correr para empezar a caminar?, ¿Los datos recopilados por los dispositivos inteligentes actuales son suficientes para generar una estrategia?, ¿Estos dispositivos entregan parámetros bien “calculados”?, ¿Son fáciles de leer esos datos?, entre otras muchas preguntas.

En conclusión, el TR tiene sus riesgos y por ende debe ser realizado con precaución. Para esto, generar un análisis del deportista y del terreno pueden solucionar muchas cosas y pueden ayudar a un mayor y mejor desarrollo del deportista. Dado lo anterior, el objetivo principal de esta investigación es generar un modelo que determine estrategias de carrera optimas que ayuden a corredores de montaña a desarrollar un mejor desempeño deportivo por medio de sus dispositivos digitales.

III. HIPÓTESIS, OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE TRABAJO

El Trail Running desarrolla sus actividades principalmente en sectores de difícil circulación. Dado esto, no es raro pensar que los cambios de pendientes son recurrentes dentro de una ruta establecida, por lo que se podría sostener que la estrategia de un corredor está estrechamente relacionada con las pendientes con las que se encuentra y es ahí donde los dispositivos digitales cumplen una tarea fundamental al registrar todos los movimientos y signos vitales de un atleta. Por consiguiente, la hipótesis base con la cual se pretende trabajar en este estudio es:

“Se puede identificar las estrategias de carrera en subida a través de dispositivos digitales”

3.1 Objetivo General:

El objetivo principal de este estudio es generar una metodología que permita identificar estrategias de carreras en trayectos de subida que ayuden a corredores de montaña a desarrollar un mejor rendimiento.

3.2 Objetivos Específicos:

- Ordenar, limpiar y filtrar datos recopilados.
- Segmentar las actividades realizadas por atleta.
- Determinar puntos críticos de pendientes para analizar los segmentos en subida de un entrenamiento.
- Determinar los puntos críticos de cadencia donde un corredor cambia su estrategia de correr a caminar.
- Analizar influencia de ritmo cardiaco, velocidad, cadencia, entre otros parámetros en el desarrollo de un entrenamiento.
- Determinar rangos críticos generales en los que se producen cambios de estilo de carrera.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Recopilación de los datos

En la presente investigación, se estudiará las distintas carreras que 44 corredores de montaña o TR amateur han realizado en los últimos 2 años. Los datos de dichas corridas fueron generados por medio de dispositivos digitales, tales como relojes inteligentes, que los mismos atletas llevan en sus entrenamientos. Estos aparatos entregan una medición exhaustiva de lo que el atleta está desarrollando. Los datos generados se descargaron gracias a las aplicaciones Strava y Human Power. La primera actúa como red social donde cada atleta puede registrar sus carreras y la segunda, al estar vinculada a Strava, permite descargar los datos ahí almacenados.

Dado esto, se analizarán las distintas variables o parámetros que los dispositivos inteligentes generan, los cuales tienen distintos enfoques y funciones.

4.2 Descripción de los datos

Los parámetros o variables tienen distintos enfoques y funciones. Dentro de esta lista se encuentran: En primer lugar, los parámetros de identificación, los cuales ayudan a identificar tanto la carrera como el atleta que la realizó, como lo son: ID del atleta que realizó la carrera, ID de la carrera en particular e ID del dispositivo digital utilizado, entre otros ID.

Luego, están los parámetros de localización, los cuales entregan coordenadas del lugar donde se realizó la actividad. Dentro de estos están los datos de: Latitud y Longitud de partida y Latitud y Longitud de término.

Por último, están los parámetros más relevantes para generar los análisis, los cuales podríamos catalogar como los datos duros, que son: calorías quemadas, distancia recorrida, elevación total ganada, cadencia, ritmo cardíaco, zancada, duración de la carrera, velocidad promedio, potencia, entre otros.

4.3 Metodología realizada

La Metodología realizada en esta investigación comenzó con una recopilación de datos (ver figura 1).

Estos datos, fueron generados por medio de los dispositivos digitales que 44 corredores llevan a la hora de realizar sus entrenamientos.

Teniendo lo anterior, se procedió a una limpieza de los datos, eliminando toda información atípica, para luego filtrar la información principalmente por potencia utilizada y calorías quemadas. Con esto, se consideró solo las carreras de mayor esfuerzo.

Posteriormente, se generaron los datos maximales, los cuales consistían en las dos carreras con mayor esfuerzo de cada corredor y que presentaron tiempos de movimiento mayores a 30 minutos y elevaciones ganadas mayores a 100 metros durante la carrera. Teniendo, de esta manera, las mejores carreras de cada atleta. Ahora bien, dado que se acotaron los datos y se filtraron por distintos parámetros, hubo carreras de ciertos corredores que no quedaron dentro de la lista. Por lo tanto, hay atletas a los cuales no se les analizó sus carreras, dado por factores como, por ejemplo:

- Se corrió en plano (no hubo cambio de pendiente).
- Tiempos de carrera menores a 30 minutos.
- Se realizaron esfuerzos bajos.

Luego, teniendo las mejores carreras de los atletas, se procedió a separar cada carrera por streams o pequeños fragmentos de carrera que permitieran visualizar cada instante de la carrera por separado. Gracias a esto, se puede tener un análisis más detallado de lo que ocurre en la carrera y como se va comportando el atleta en su recorrido.

Teniendo los streams se procedió a realizar un nuevo filtro el cual eliminara todos los streams o segmentos de carrera que tuvieran cadencias menores a 60 pasos por minuto.

A continuación, se generó un modelo de elevación el cual permitiera generar una segmentación por subida y bajada. Lo que se quiso lograr realizando este modelo fue detectar los segmentos que se compusieran principalmente por subidas, para así,

desechar las bajadas y lograr analizar lo que realmente interesa en esta oportunidad. Para realizarlo se tomaron las diferencias de altura que existen entre un dato y otro respecto a una misma carrera y se agruparon los datos según su condición de subida o de bajada.

Ahora bien, dado que queremos determinar los quiebres o cambio de transición, se debió acotar aún más el mundo de datos. Para esto, se analizaron las diferencias de cadencias que había entre un stream y otro.

Finalmente, para generar una comparación y determinar una concordancia entre los datos, se generó un test de Kolmogorov-Smirnov el cual ayude a determinar la bondad de ajuste de los atletas y con esto se pueda contrastar los diversos análisis que ayuden a generar una conclusión respecto de los resultados obtenidos.

Todo lo anterior se traduce en el Esquema Conceptual de Metodología presentada en la figura 1.

4.4 Resultados Esperados

Finalmente, lo que se busca con esta metodología es encontrar las pendientes de transición. Esto ayudaría a entender el comportamiento de los atletas en segmentos de subida según los distintos ángulos de pendientes a los que se enfrentan y permitiría generar las bases para desarrollar estrategias de carrera optimas e individualizadas para cada atleta. Adicional a esto, se busca comparar los resultados generados por esta investigación con los resultados de la literatura actual y ver como difieren los análisis de laboratorio con los análisis generados mediante dispositivos digitales en ambientes reales de carrera.

4.5 Esquema Conceptual de Metodología

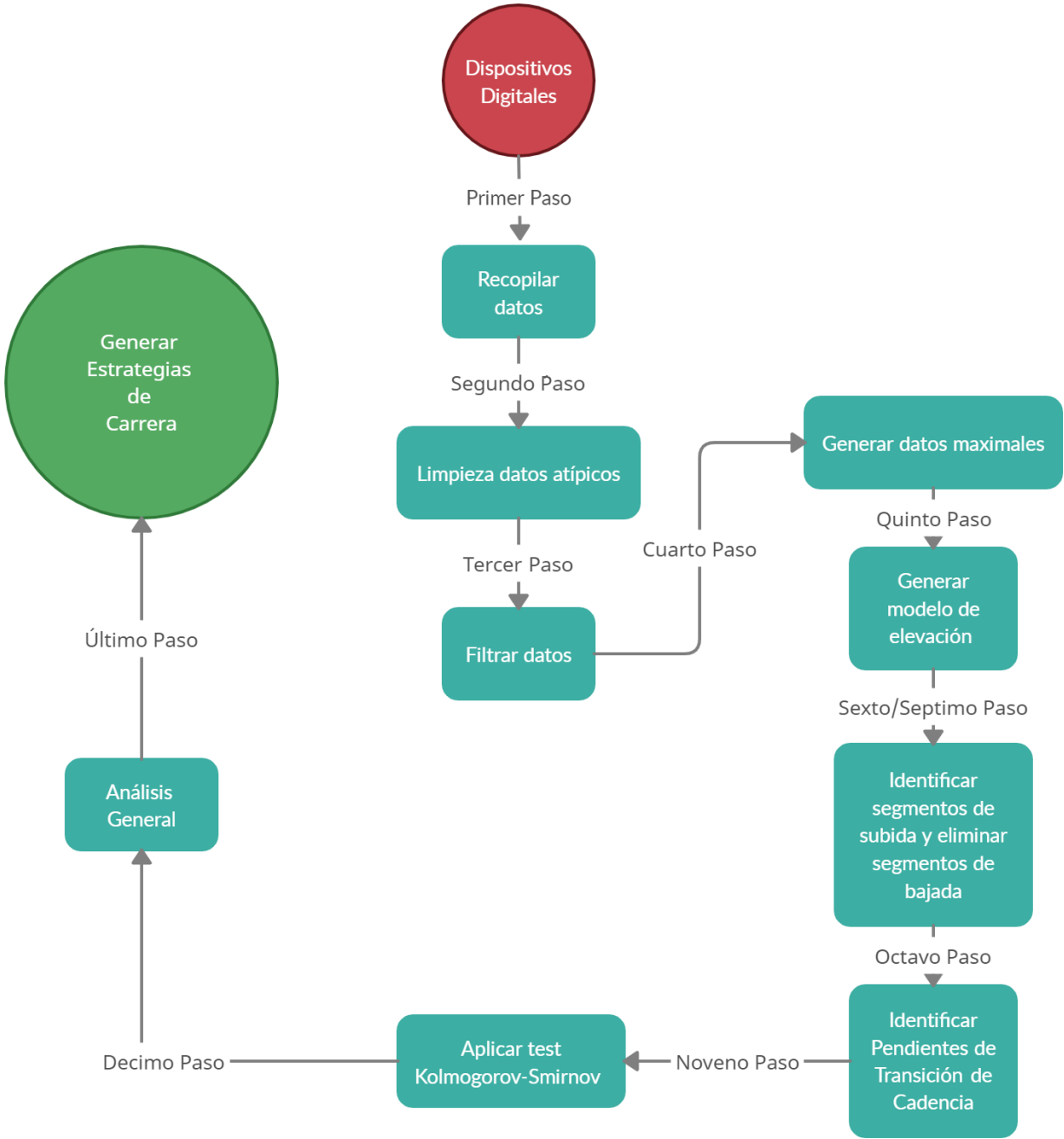


Figura 1: Esquema de Metodología.

V. RESULTADOS

En esta investigación, la recopilación de datos logro obtener datos de 12.364 carreras. Las cuales, luego de diversos procesos de limpieza y filtrado por potencia y calorías pasaron a ser 8.222 carreras a analizar. Posterior a esto, al general los datos maximales el espectro de datos se acoto aún más y paso de 8.222 a 70 carreras ya que solo se consideraron las mejores carreras de cada atleta.

Luego, la separación de streams que se generó en las 70 carreras antes mencionadas provoco que se generaran 149.931 streams totales de estas 70 carreras maximales. Ahora bien, al realizar nuevos filtros por cadencia y eliminar los segmentos compuestos mayoritariamente de bajadas, se empezó a trabajar solo con 65.455 streams.

No obstante lo anterior, para poder determinar los puntos de transición o cambios de estrategia en una carrera, primero se debió analizar las diferencias de cadencia entre un stream y otro. Por ende, se tomaron esos 65.455 streams y se analizaron uno por uno para detectar cómo se producía esa diferencia de cadencia. Tal como nos muestra el siguiente grafico:

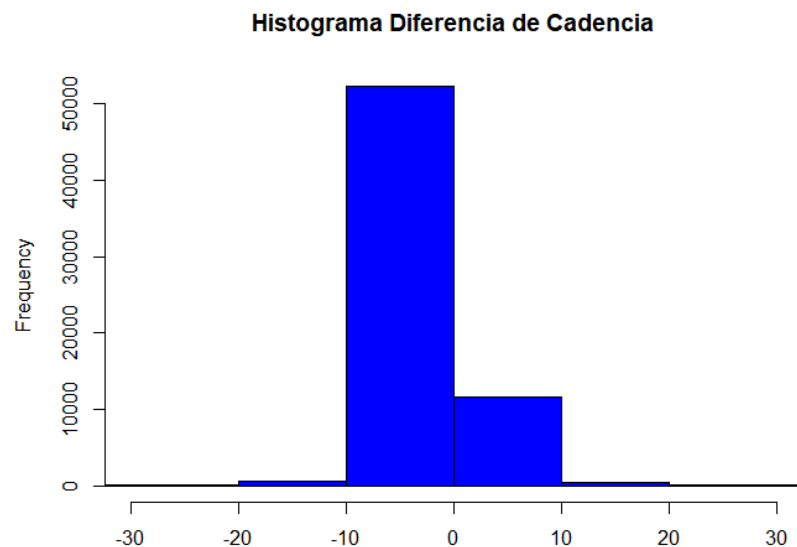


Figura 2: Histograma de Diferencia de Cadencias

Teniendo la diferencia de cadencia que hay entre un stream y otro, las mayores diferencias de cadencia se producen en los rangos mayores o menores a 10, o sea que los segmentos donde se producen los mayores quiebres de cadencia se producen cuando el atleta disminuye o aumenta su cadencia sobre los 10 pasos por minuto. Por ende, como esta investigación quiere analizar eso, se tomó los segmentos donde la diferencia de cadencia respecto al dato anterior fuera mayor a 10 pasos por minuto. Esta situación conlleva a que se trabaje con solo 1.491 datos que corresponden a carreras de 27 atletas. Lo que nos hizo pasar de 44 corredores iniciales a solo 27.

Gracias a todo lo anterior, se pudo analizar los perfiles de los atletas. Como un primer análisis, fue importante visualizar el comportamiento de la velocidad de un atleta en cuestión frente a los cambios de cadencia que este genera en su carrera. Para esto, se generaron gráficos de violín como el siguiente:

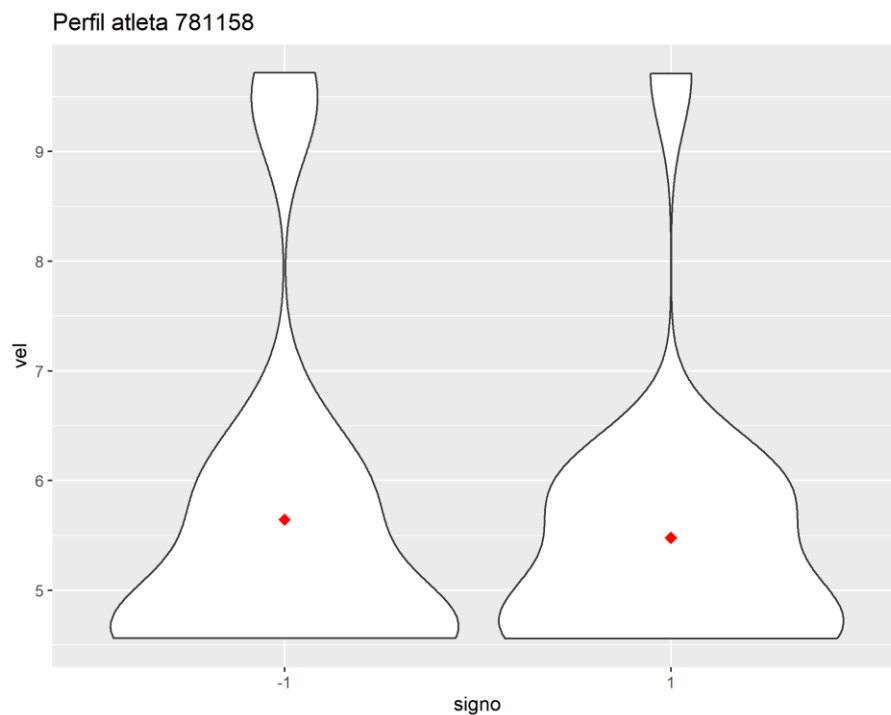


Figura 3: Perfil de Velocidad atleta 781158

Este gráfico nos muestra como el atleta 781158 se comporta frente a sus cambios de cadencia, siendo signo negativo que disminuyo la cadencia en más de 10 pasos por minuto y siendo signo positivo que aumento la cadencia en más de 10 pasos por minuto. Por lo que se puede decir en primera instancia que este atleta cambia su estrategia de carrera al tener una velocidad promedio de entre 5 y 6 km/h. O el atleta 3077868 (ver Anexo Tabla 1) el cual cambia su estrategia entre los 11 y 12 km/h.

Ahora bien, sería imprudente solo analizar eso y sacar conclusiones. Es necesario contrastar lo anterior con otros análisis y para esto, se generó una prueba de Kolmogorov-Smirnov que realizara diversas pruebas de bondad para medir el grado de concordancia de los datos de un atleta consigo mismo al comparar los datos de signos positivos con los datos de signos negativos, o dicho de otra manera, aumento vs disminución de cadencia, y además comparar cómo se comporta cada atleta con respecto al panorama general de los atletas ya sea aumentando o disminuyendo cadencia.

Gracias a este análisis se generaron gráficos Boxplot los cuales muestran cómo es que los atletas se desempeñan respecto a los resultados generados por el test de Kolmogorov-Smirnov según ángulos y velocidades.

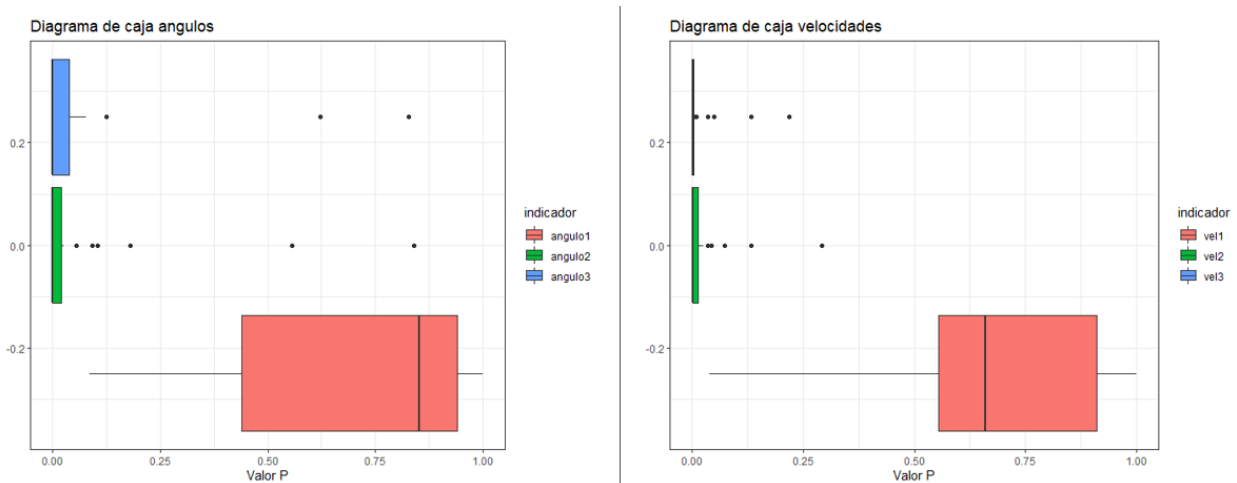


Figura 4: Boxplots ángulos y velocidades según test Kolmogorov-Smirnov

En el diagrama de la izquierda, se puede ver como el indicador ángulo 1, el cual representa los valores p de los atletas al comparar los aumentos versus las disminuciones de cadencia individuales de cada uno, entrega valores p elevados, sobre los 0.4. Por otro lado, el indicador ángulo 2 representa la comparación de un atleta en particular con respecto al panorama general de los datos de todos los atletas cuando la cadencia aumenta o dicho de otra forma el atleta pasa de caminar a correr. El indicador ángulo 3 y cuadro azul representa la comparación entre un atleta frente al panorama general cuando se disminuye la cadencia.

Ahora bien, otro análisis importante que se generó a través de Kolmogorov fue la relación que existe con la velocidad frente al cambio de cadencia, lo cual se puede ver a la derecha de la figura 4.

Todo lo anterior, se refleja en la siguiente tabla de resultados generados a partir del test de Kolmogorov-Smirnov.

Indicador	Valor p Diagrama de Ángulos	Valor p Diagrama de Velocidades
1. Cuadro Naranja	0.7108	0.6919
2. Cuadro Verde	0.0705	0.0236
3. Cuadro Azul	0.0712	0.0169

Tabla 1: Tabla de resultados test Kolmogorov-Smirnov

Aquí se puede ver la concordancia de los datos según el análisis generado, dando valores p cercanos a 1 en el caso del cuadro naranja y valores cercanos a 0 en el caso de los otros cuadros.

Por otro lado, para apoyar el análisis anterior, se realizaron análisis de densidades individuales que demostraron como es que se desempeña cada corredor respecto a los diferentes parámetros a analizar. En primera instancia, se analizó el costo de velocidad frente el ritmo cardiaco de cada atleta donde se obtuvieron resultados como el siguiente:

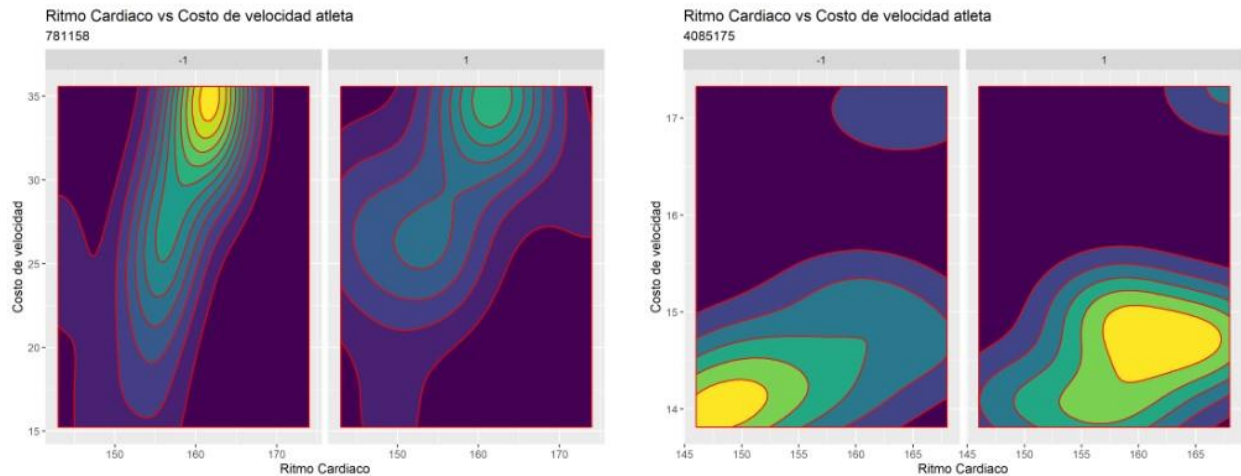


Figura 5: Grafico de densidad Costo de velocidad vs Ritmo Cardiaco atletas 781158 (izquierda) y 4085175 (derecha)

Aquí se puede ver como el atleta 781158 presenta relativamente un mismo comportamiento entre su costo de velocidad y su ritmo cardiaco, ya que a pesar de que se aumente (signo positivo) o se disminuya (signo negativo) la cadencia y se cambie la estrategia de carrera, el atleta se comporta prácticamente igual. Esto, se repite en la mayoría de los atletas (ver Anexo Tabla 2), pero hay atletas que presentan pequeños cambios como lo son el atleta 4085175, el cual el costo de velocidad y el ritmo cardiaco cuando la cadencia disminuye es menor a cuando la cadencia aumenta, por ende se puede decir que en este caso, el atleta 4085175 presenta un ritmo cardiaco más elevado al aumentar cadencia que cuando disminuye su cadencia.

Por otro lado, el análisis de cómo se comporta el ritmo cardiaco respecto al ángulo según se aumente o se disminuya la cadencia entrega parámetros relevantes para poder identificar en cuales ángulos y a que ritmo cardiaco se generan los cambios. A modo de ejemplo, se expondrá los resultados del atleta 2458742 en el siguiente gráfico:

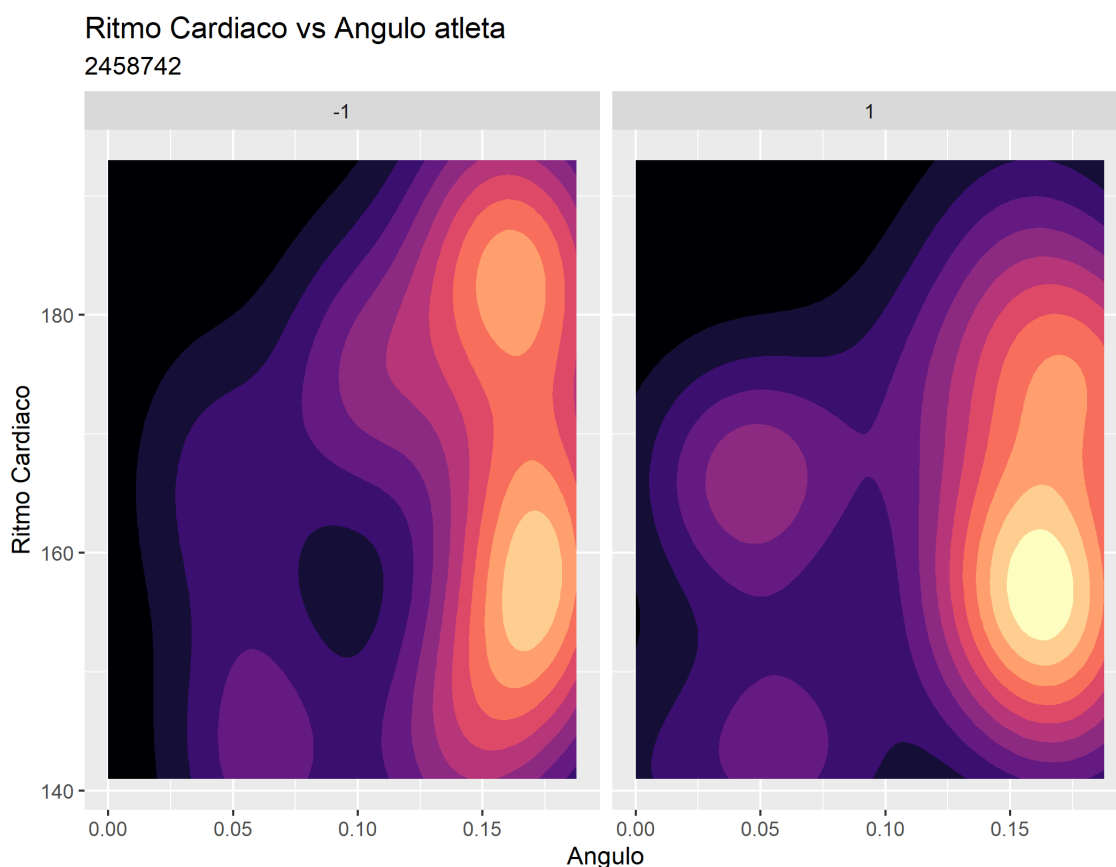


Figura 6: Grafico de densidad Ritmo Cardiaco vs Angulo

Aquí es importante mencionar que, el atleta 2458742 presenta un panorama similar tanto cuando aumenta como cuando disminuye la cadencia y cambia su estrategia. Cuando este atleta pasa de correr a caminar lo hace mayoritariamente a un ritmo cardiaco entre 140 y 180 BPM y lo hace mayoritariamente entre los 15° y 16°. Por el otro lado, cuando pasa de caminar a correr, el atleta genera los cambios de estrategia en los mismos rangos que al pasar de correr a caminar. Esto se repite con todos los atletas (ver Anexo Tabla 3). A pesar de lo anterior, es importante mencionar que existen atletas donde es más claro este análisis ya que presentan mayor cantidad de datos analizados.

VI. DISCUSIÓN

Esta investigación presenta una metodología que ayuda a modelar estrategias de carrera que diversos deportistas han realizado en distintas carreras de Trail Running por medio de la recopilación de datos generados por sus dispositivos digitales. Dado los resultados generados por esta investigación, se puede decir que los resultados han demostrado que los dispositivos digitales entregan información relevante que puede ser analizada de forma sencilla y con la cual se puede generar estrategias de carrera que impliquen mejoras en los rendimientos de los deportistas.

Ahora bien, para lograr la generación de estrategias de carrera optimas, se deberá tener en consideración factores externos que en este estudio no se abordaron. En primer lugar, el clima es un factor relevante a la hora de realizar esto, por lo que, para un futuro análisis, sería de gran avance tener en consideración el clima con el cual se realiza la actividad, ya que, realizar TR con lluvia y el suelo mojado es muy distinto a realizarlo con sol y el recorrido seco. En línea con lo anterior, una de las limitaciones más grandes de esta investigación fue que finalmente se trabajó con muy pocos datos, ya que se terminó con 70 carreras maximales y esto genera que los resultados puedan presentar problemas.

Respecto a los resultados obtenidos en esta investigación, se puede decir que existe corredores a los cuales no se les analizo u otros a los cuales se les analizo solo una carrera, lo cual genera imprecisiones. A pesar de lo anterior y con los análisis de los atletas restantes, se puede decir que los hallazgos que se obtuvieron con este estudio son relevantes para generar estrategias de carrera que puedan ayudar al desempeño de un atleta. Ahora bien, los resultados expresaron que no se puede realizar o presentar una estrategia de carrera general a un espectro de corredores, ya que cada corredor tiene sus propios parámetros y por el contrario se tienen que generar estrategias individuales para cada uno de los atletas. Dentro de los resultados expuestos, se pudo observar que el atleta 781158 genera sus cambios de estrategia de carrera a velocidades entre 5 y 6 km/h, ya sea para pasar de correr a caminar como para pasar de caminar a correr. No así, otros atletas, los cuales hacen dichas transiciones a otras velocidades,

ritmos cardiacos y ángulos. Todo lo anterior, se sustenta gracias a las pruebas de Kolmogorov- Smirnov de la figura 4, ya que, por ejemplo, con el cuadro naranja del análisis de ángulos, se puede determinar que, dado que el valor p es elevado, cuando analizamos un atleta en particular, los cambios de estrategia de carrera se producen en un mismo ángulo. Por otro lado, el cuadro verde, de ese mismo análisis, demuestra que cuando aumenta la cadencia todos los atletas registran un ángulo distinto en el cual generan ese cambio, ya que el valor p es muy cercano al 0. Esto mismo sucede cuando disminuye la cadencia o dicho de otra forma se pasa de correr a caminar. Con este análisis, se puede interpretar que independiente del cambio de la cadencia, los ángulos de transición siempre serán los mismos para un atleta, pero serán distintos entre atletas. Ahora bien, en el caso de las velocidades, se puede decir que en esta ocasión se repite lo expuesto anteriormente con los ángulos. Esto quiere decir que las velocidades de transición de un atleta son iguales cuando aumenta o cuando disminuye su cadencia, pero si lo comparamos con las velocidades de otros atletas, estas serán distintas.

Finalmente, se puede decir que, la metodología implementada en esta investigación, entrega un gran avance para la industria del TR, pero a pesar de eso es importante que se siga mejorando y perfeccionando, ya que el TR es un mundo donde siempre se puede innovar y en donde se puede experimentar. Por ende, esta investigación es la base de futuras investigaciones que se podrían realizar respecto al Trail Running.

VII. CONCLUSIÓN

Para concluir, esta investigación busco identificar la efectividad de las estrategias de carrera de subida a través de dispositivos digitales. Dicho esto, y luego de realizar este estudio, se puede decir que los dispositivos digitales entregan parámetros que son relevantes y reflejan hechos reales por los que pasa o podría pasar un deportista al realizar Trail Running. Es por esto que, el desarrollo de un análisis en ambientes controlados de laboratorio claramente no está en sintonía con lo que realmente sucede en una ruta, no así, lo que nos entregan los dispositivos digitales.

No obstante, los resultados encontrados por las investigaciones de Padulo, Giovanelli o Lauenstein, introducen conceptos y generan resultados interesantes que son contrastables a esta investigación. Por un lado, tenemos que las velocidades de isoeficiencia son importantes para saber las capacidades de un deportista. Por otro lado, los factores de equivalencia introducidos por Lauenstein son relevantes para comparar carreras de subida con carreras en plano, lo cual serviría para poder ampliar el espectro de análisis a carreras que no solo sean de subida y se pueda generar estrategias de carrera para toda ruta y atleta.

Ahora bien, esta investigación, desarrollo una metodología que mezcla diversas variables, como lo son cadencia, pendiente, ritmo, entre otras. Cada una de estas variables entrega información importante respecto a la carrera de un deportista. Este estudio inició con 12.364 carreras, que luego, bajo una serie de procesos de limpiezas y filtros, pasaron a ser 70 carreras las cuales representan las carreras maximales de los corredores. Dado esto, y generando los análisis correspondientes, se puede concluir que, el ritmo de los atletas disminuye según el aumento de la pendiente sin importar la estrategia de carrera que se adopte, tal como expone Giovanelli, y por otro lado las pendientes de transición son distintas e independientes para cada corredor, por lo que no se puede determinar pendientes de transición generales y se deben generar estrategias individualizadas.

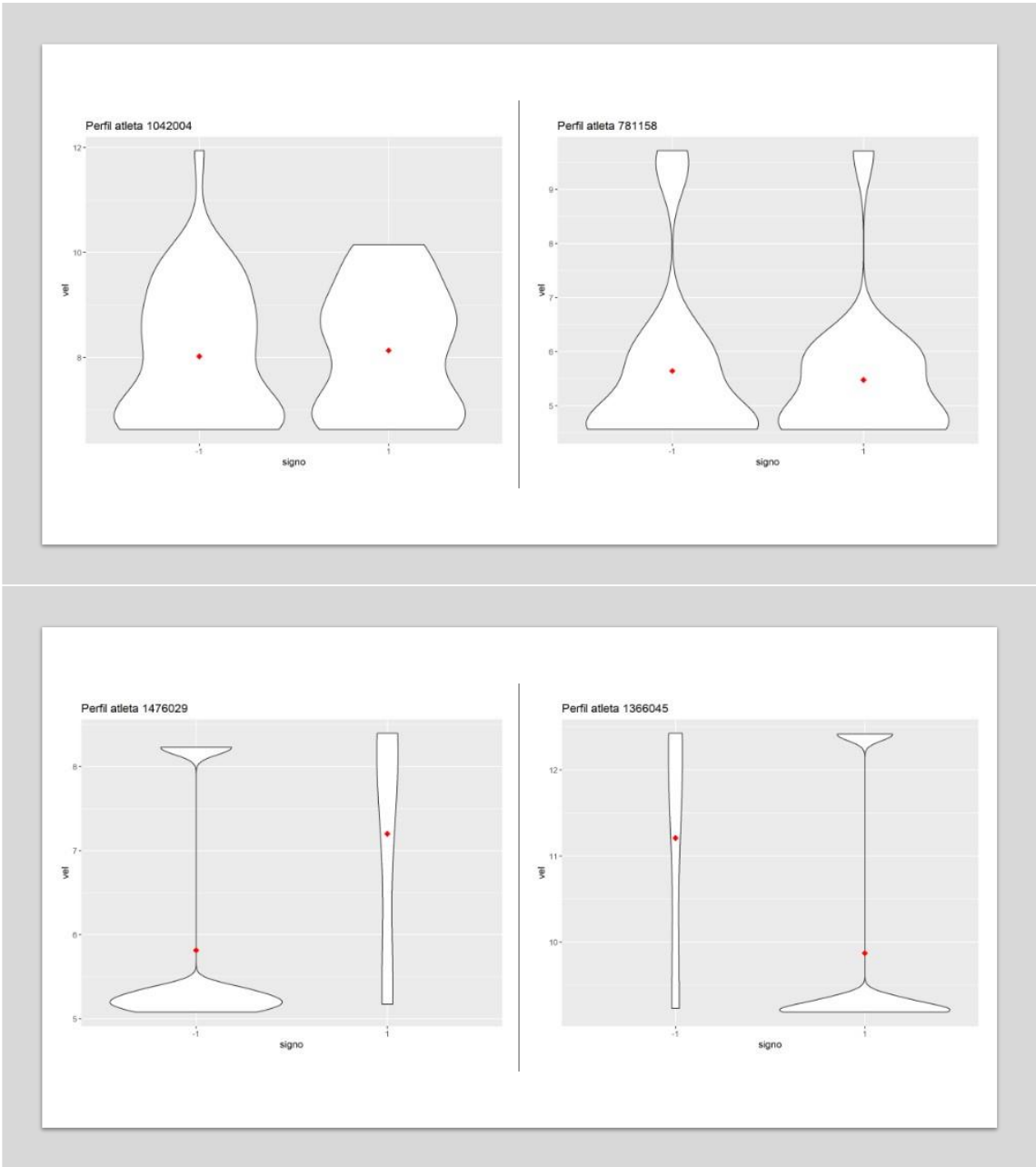
En definitiva, se puede afirmar que los dispositivos digitales entregan una posibilidad clara para generar estrategias de carrera, pero aún falta mucho por desarrollar en este campo, ya que, existen diversos factores involucrados que interfieren en el desarrollo de este deporte. A pesar de esto, los resultados y la metodología empleada presentan un gran avance respecto al rumbo que se debe tomar y como se debería realizar.

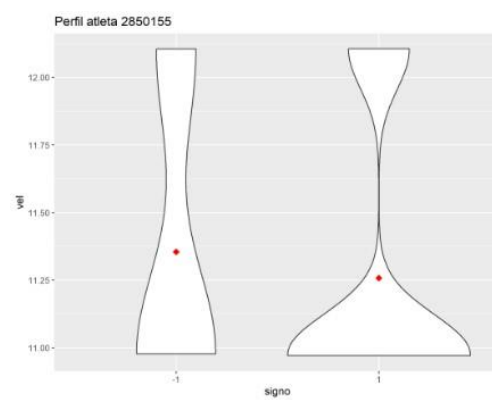
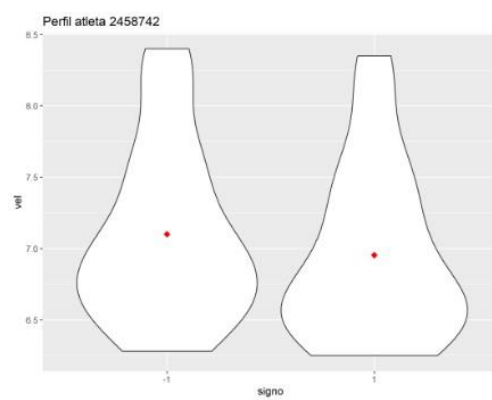
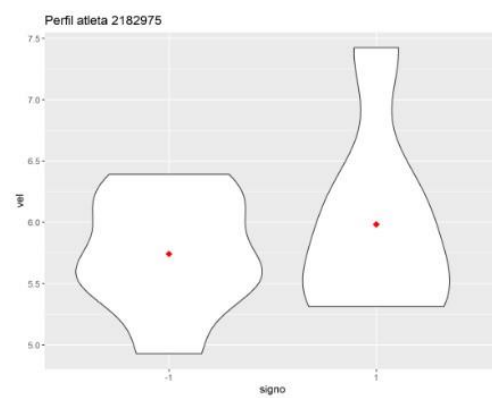
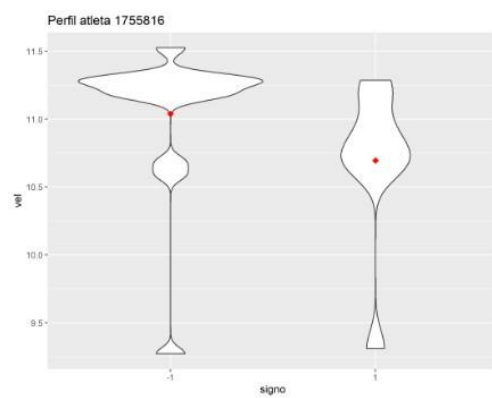
VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Llopis, R., & Vilanova, A. (2015). *A Sociological Analysis of the Evolution and Characteristics of Running*. In J. Scheerder & K. Breedveld (Eds.), *Running Across Europe: The Rise and Size of One of the Largest Sport Markets* (pp. 220– 240). Palgrave Macmillan.
2. Venero, J. P. (2007). *La clase de Educación Física como motor de cambio social. Reflexionando sobre actividades en la naturaleza, curriculum oculto y valores*. Retos. Nuevas Tendencias En Educación Física, Deporte y Recreación, 11, 51–53.
3. Seguí Urbaneja, Jodi, Inglés Yuba, Eduard, Labrador Roca, Víctor, Faría Torbidoni, Estela Inés. (2016). *Carreras (de o por) montaña o trail running. El reconocimiento de la modalidad deportiva: una visión jurídica*. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación, 143-148.
4. Moreno Chennane, Sara. (2016). *Trail Running: la motivación humana por enfrentar sus limitaciones*. Universitat Jaume I. Departament de Ciències de la Comunicació. Trabajo de tesis.
5. Paredes Gonzalez, Ana. Blazquez, Raul. (2020). *Lesiones más frecuentes en corredores de Trail*. Facultad de Medicina, Universidad Miguel Hernandez. Trabajo Fin de Grado en Podología.
6. Padulo, J. Annino, G. Smith, L. (2012), *Uphill Running at ISO-Efficiency Speed Orthopedics & Biomechanics*.
7. Lauenstein, S. ; Wehrin, J. ;Marti, B. (2013), *Differences in Horizontal vs Uphill Running Performance in Male and Female Swiss World-Class Orienteers*. Journal of Strength and Conditioning Research
8. Giovanelli, N. ; Louise, A. ; Henninger, K. ; Kram, R. (2016), *Energía en carrera a Pie de Kilometro Vertical; ¿Cuánto más inclinado mejor?*, J Appl Physiol.
9. Pérez, N., Requejo, P. (2016), *Wearables en el deporte, un camino para el éxito*. Documento en línea, <https://blogthinkbig.com/wearables-en-el-deporte-un-camino-para-el-exito>
10. Abrutsky, M. (2018), *Aplicaciones de relojes inteligentes y otros sensores, en la recopilación de datos sensibles para el control de rendimiento de atletas de resistencia*. Tesis para maestría en ingeniería en sistemas de información, Universidad Tecnológica Nacional.
11. Jackson W. Brill (2020), *to run or walk uphill: a matter of inclination*. Honors Thesis Integrative Physiology. University of Colorado-Boulder.
12. Abe D, Fukuoka Y, Horiuchi M. (2019) Why do we transition from walking to running? Energy cost and lower leg muscle activity before and after gait transition under body weight support. PeerJ: 17: e8290.
13. Koop, J. Rutberg, J. (2016) *Training Essentials for Ultrarunning*. Boulder, CO, Velopress.
14. Kung SM, Fink PW, Legg SJ, Ali A, Shultz SP. (2018) What factors determine the preferred gait transition speed in humans? A review of the triggering mechanisms. *Hum Mov Sci*: 57: 1-12.

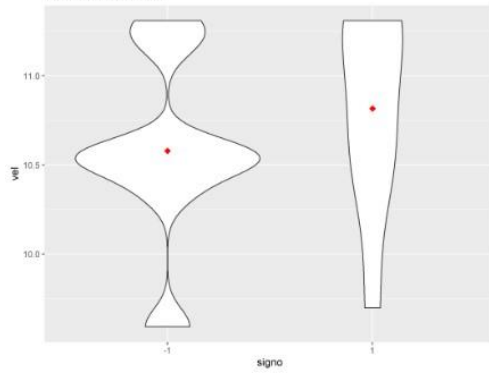
IX. ANEXOS

Tabla 1 Perfiles Atletas

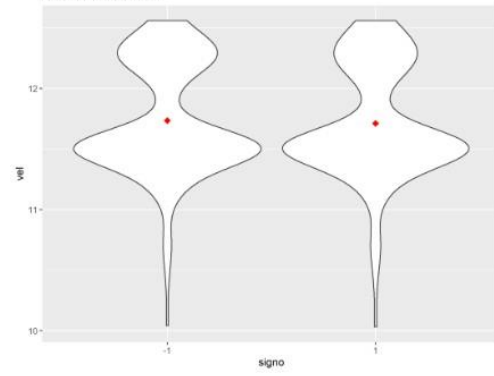




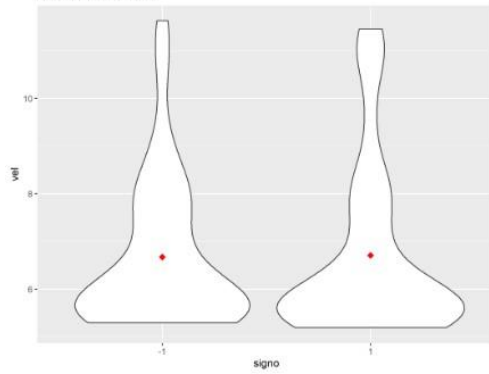
Perfil atleta 4085175



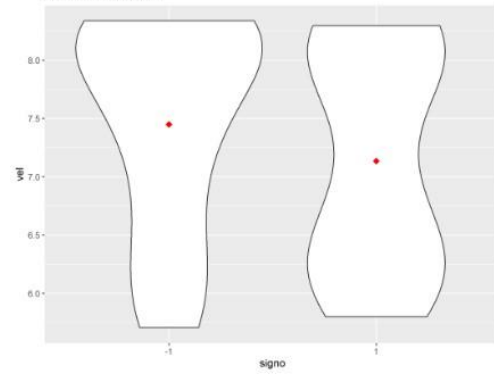
Perfil atleta 3077868

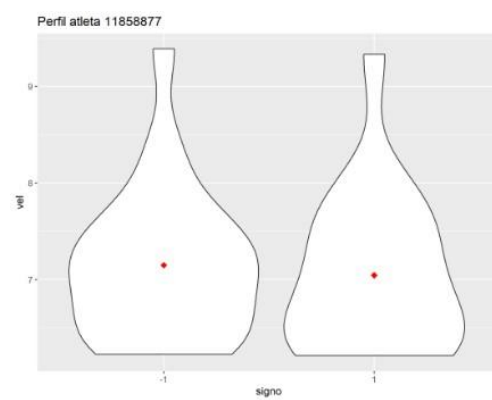
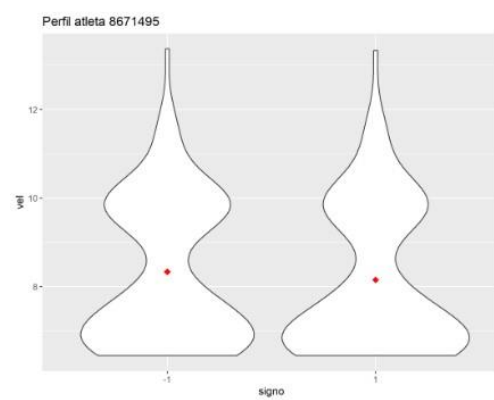
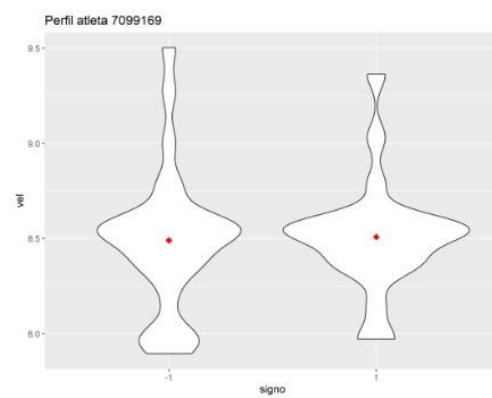
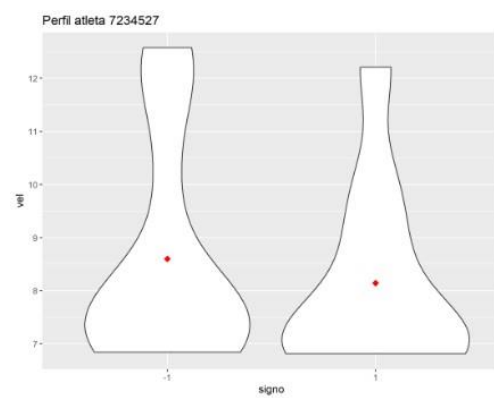


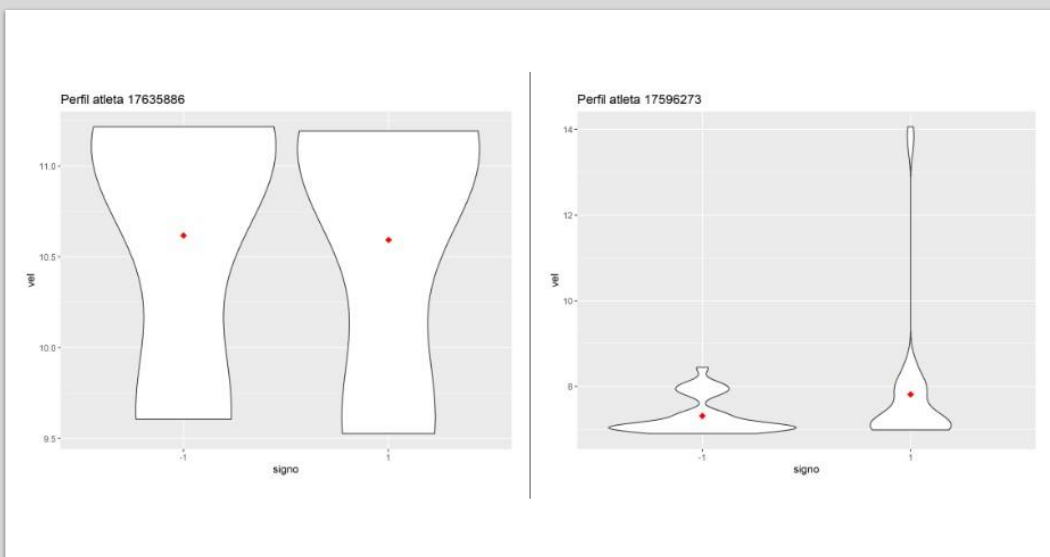
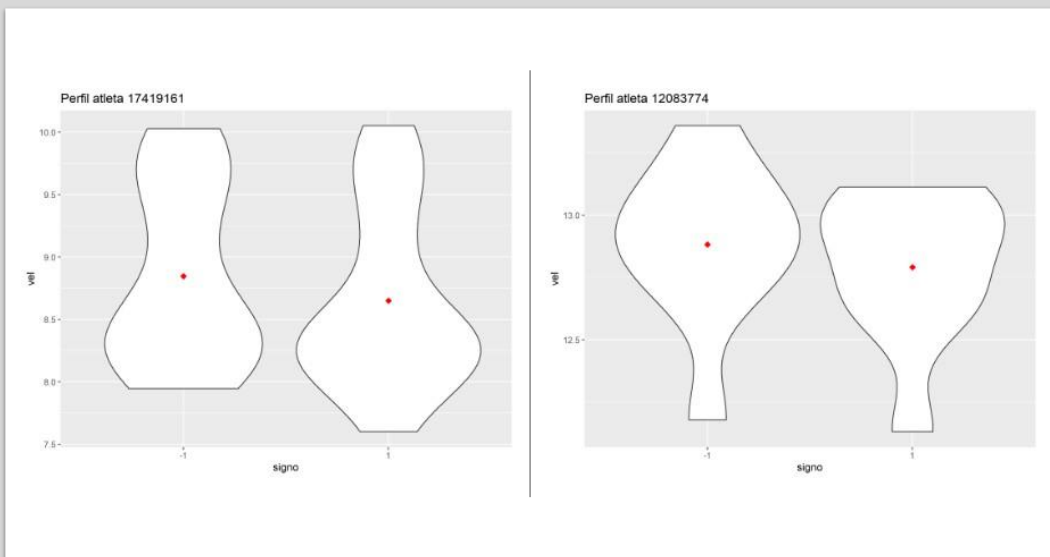
Perfil atleta 5045235

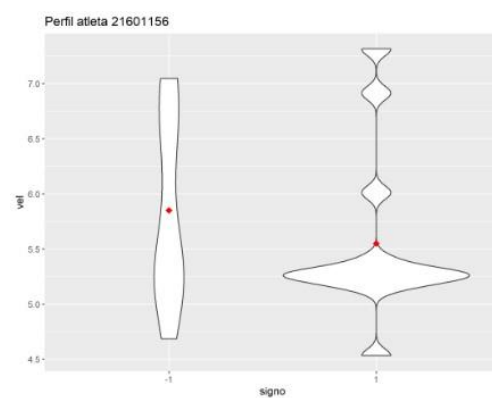
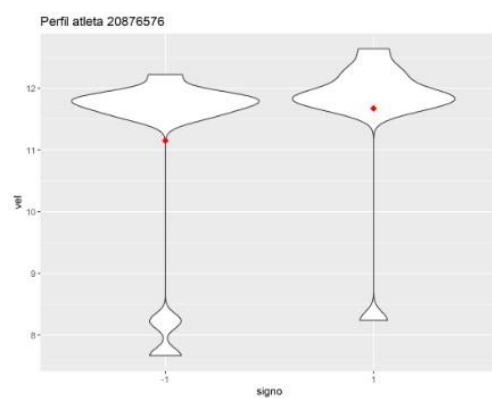
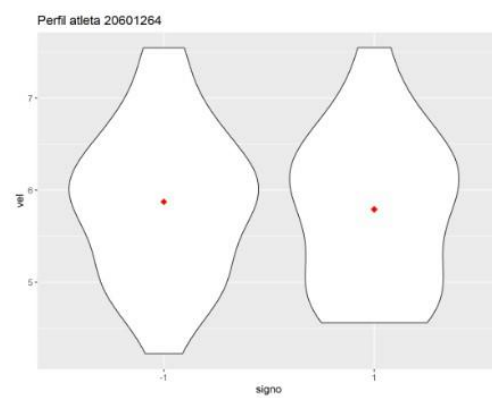
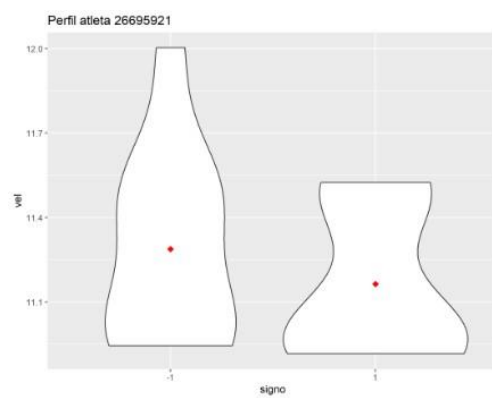


Perfil atleta 4276599









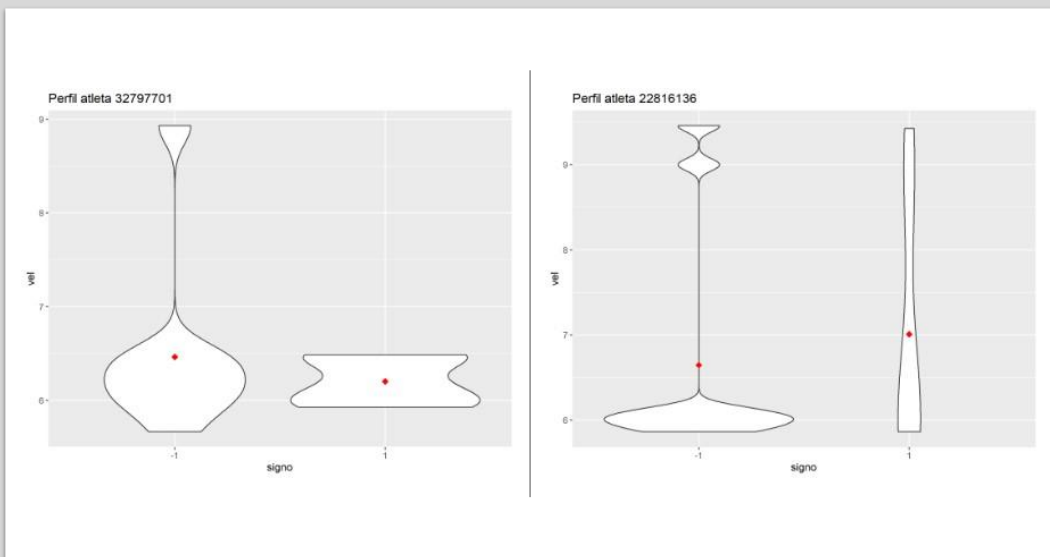
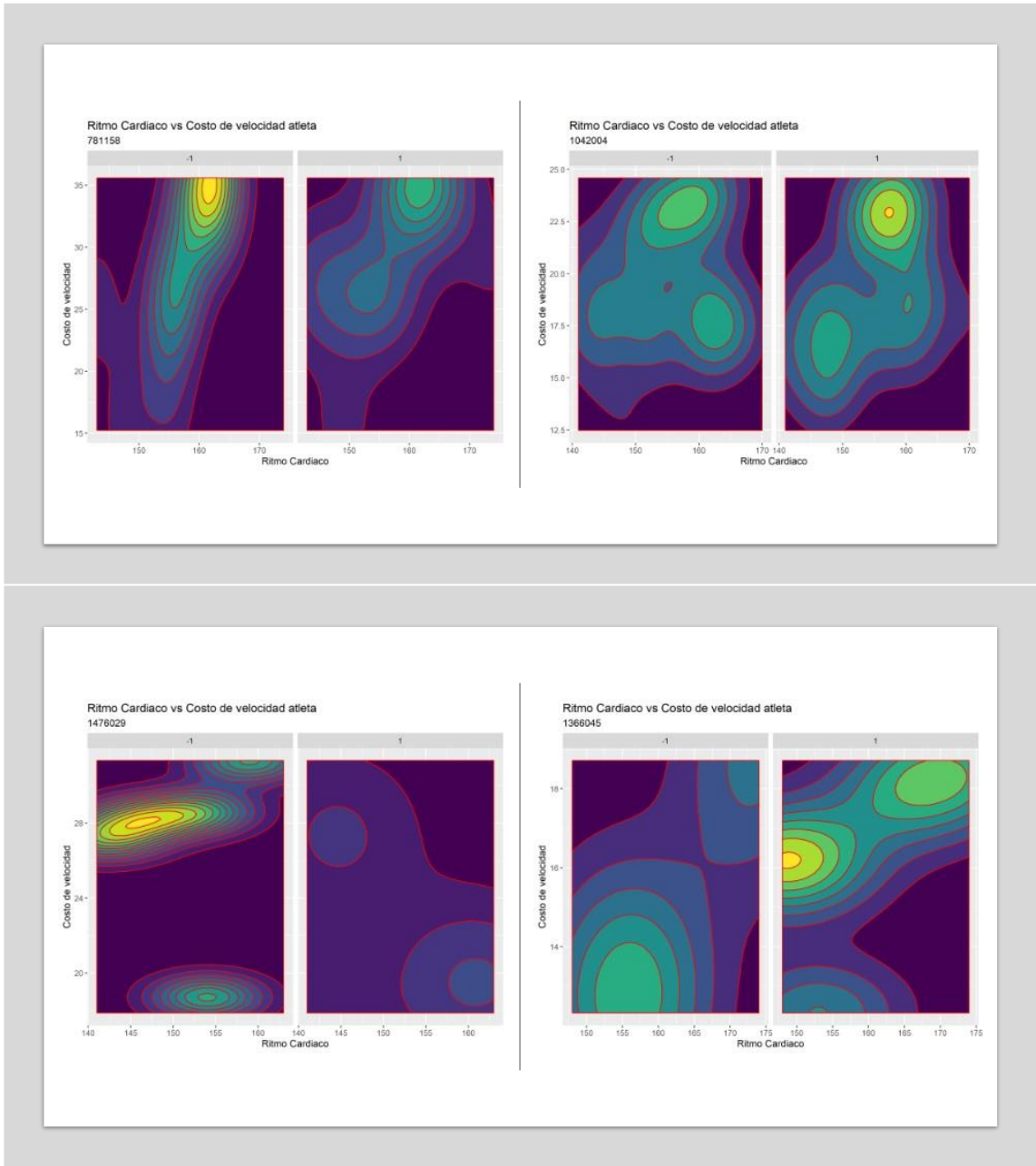
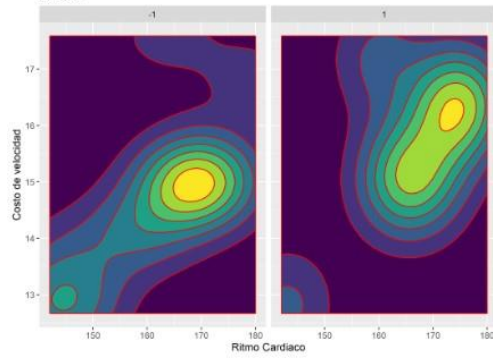


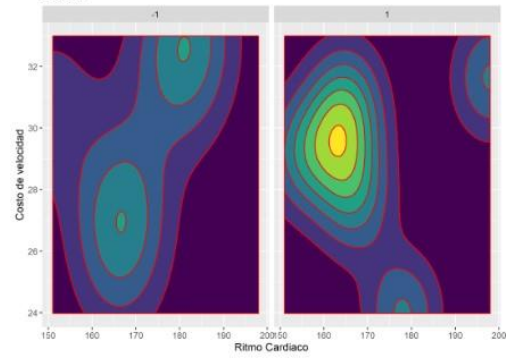
Tabla 2: Diagramas de densidad Ritmo Cardiaco vs Costo de Velocidad



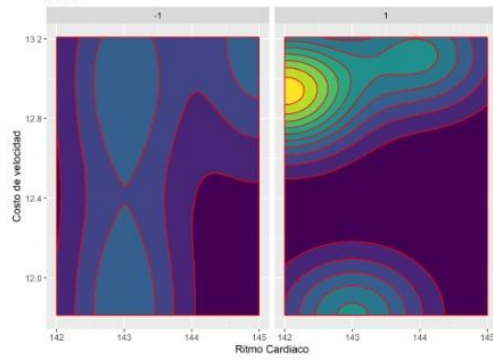
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
1755816



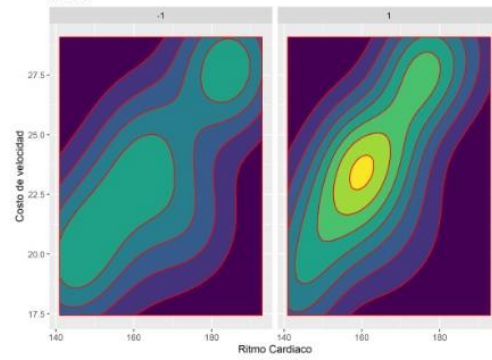
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
2182975



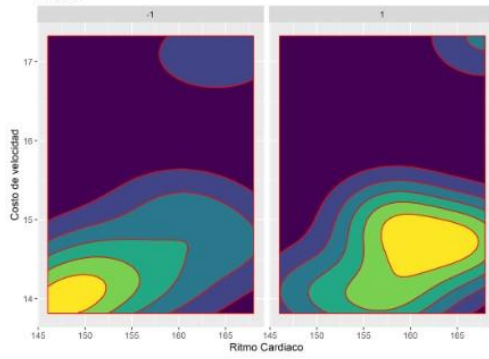
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
2850155



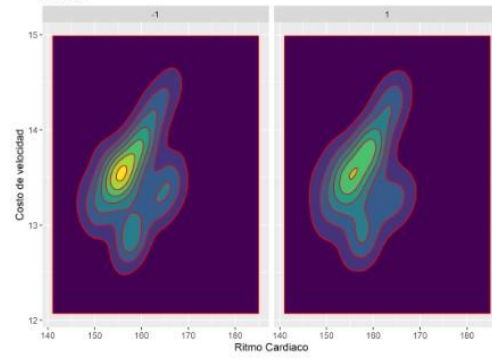
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
2458742



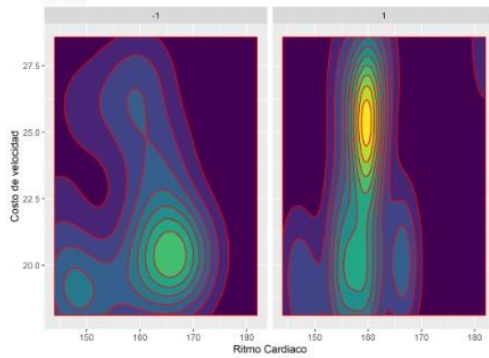
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
4085175



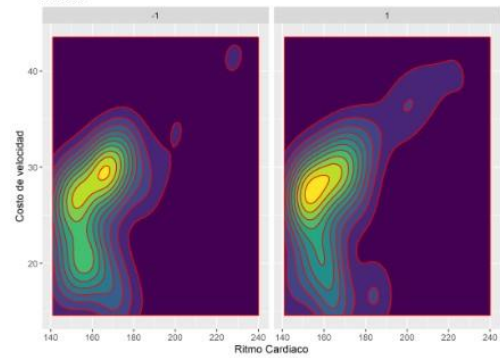
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
3077868



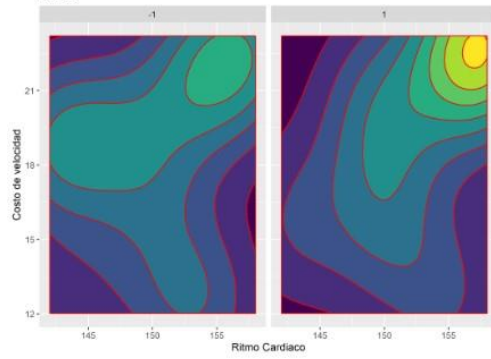
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
4276599



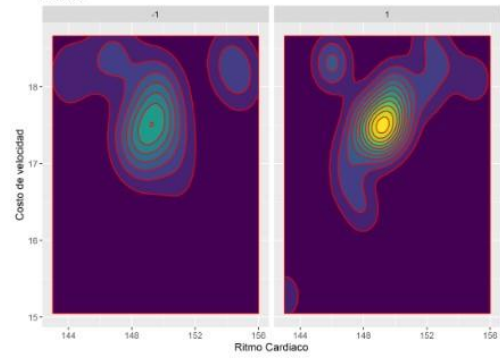
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
5045235



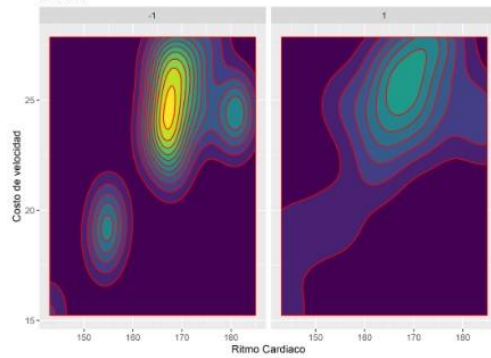
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
7234527



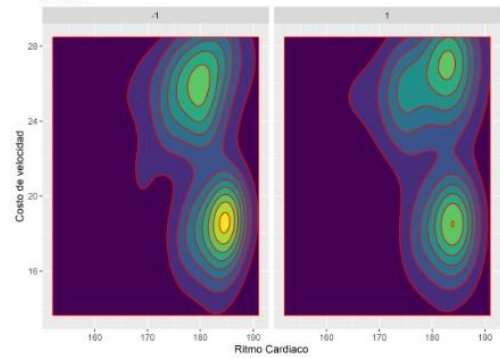
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
7099169



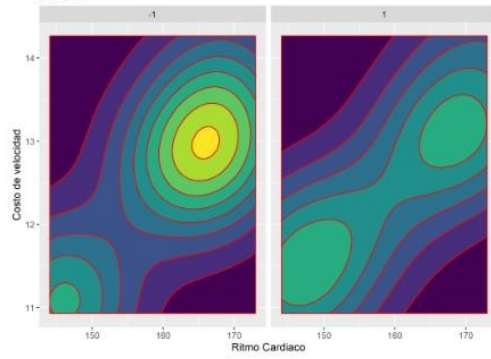
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
11858877



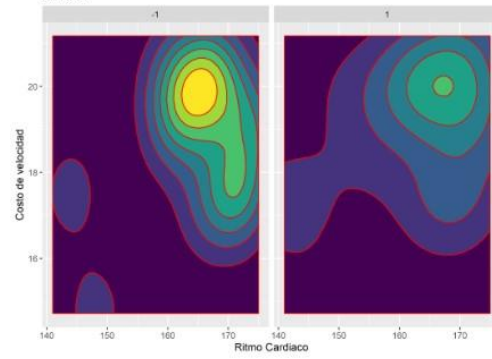
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
8671495



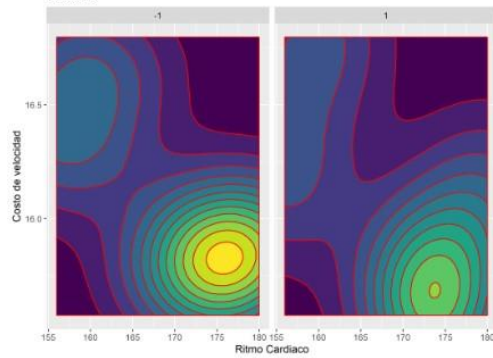
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
12083774



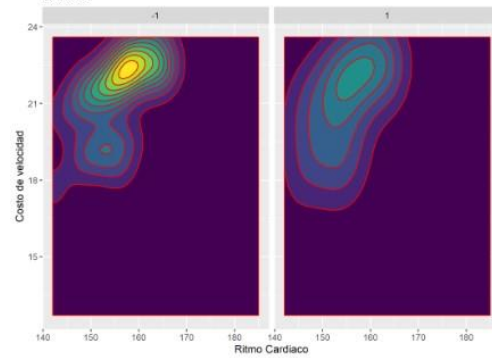
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
17419161



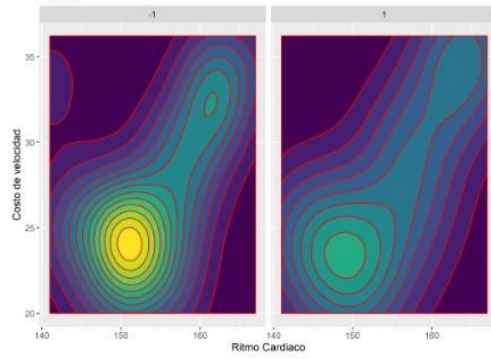
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
17635886



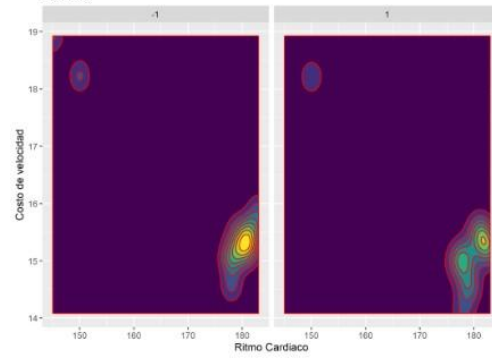
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
17596273



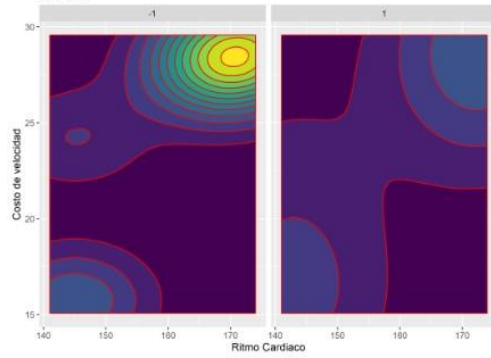
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
20601264



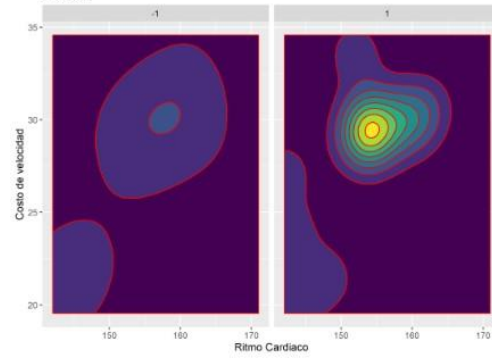
Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
20876576



Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
22816136



Ritmo Cardiaco vs Costo de velocidad atleta
21601156



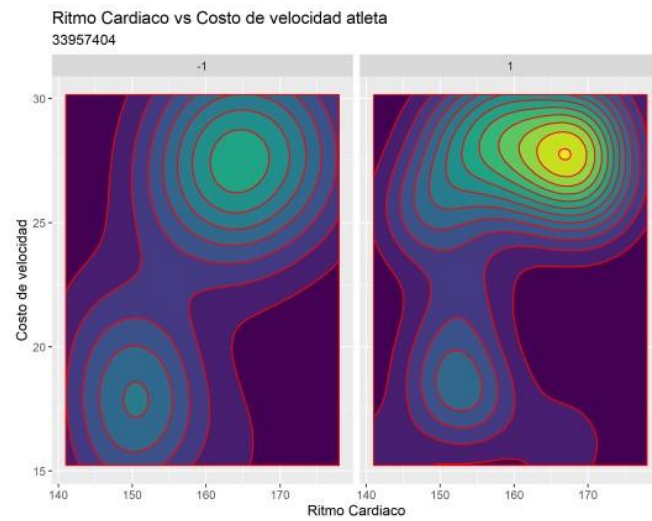
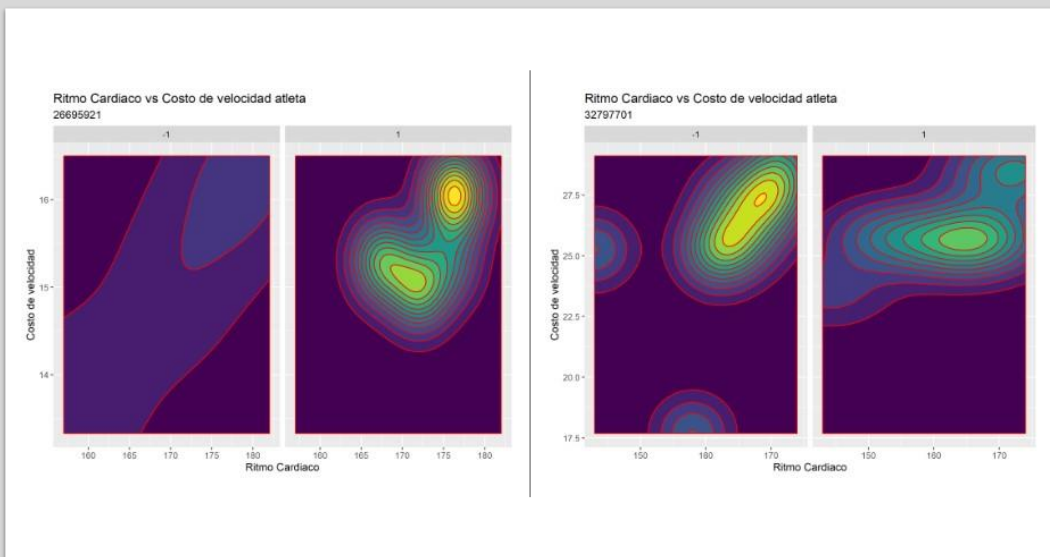
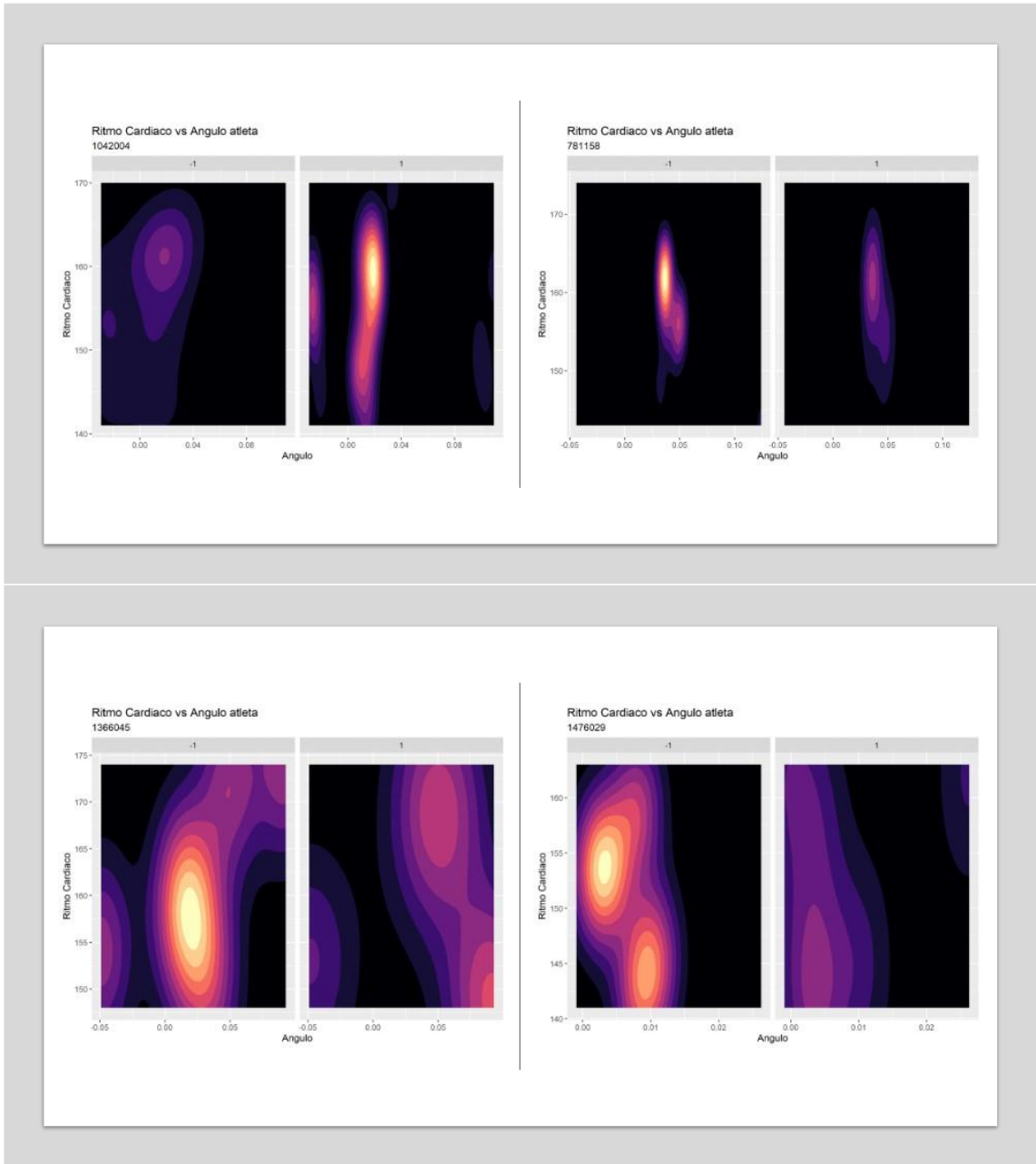
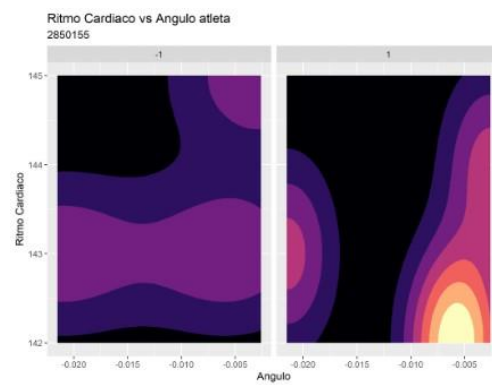
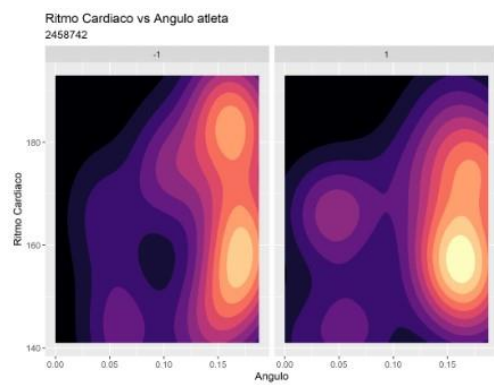
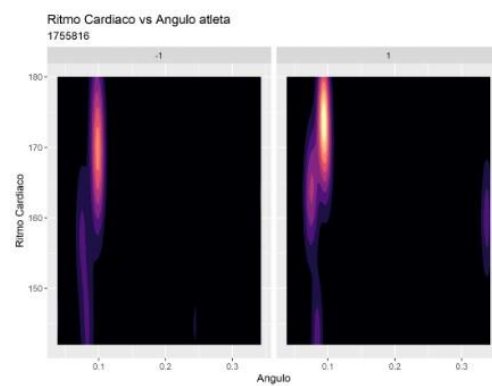
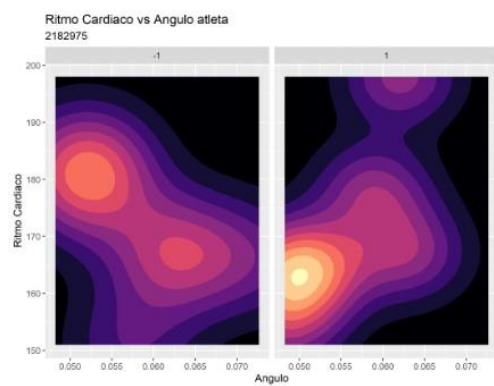
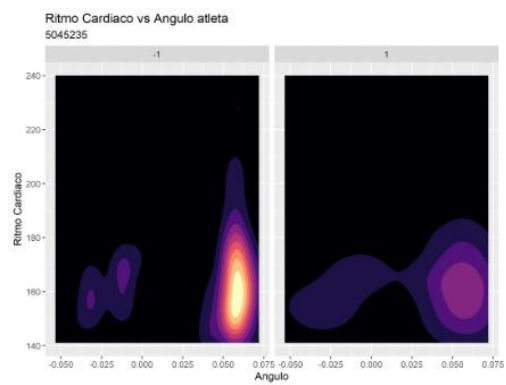
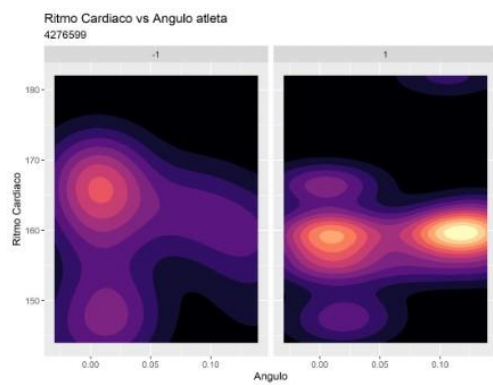
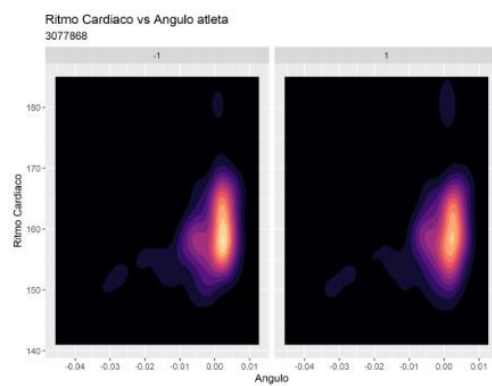
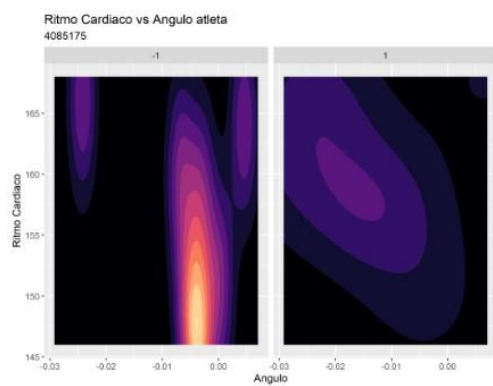


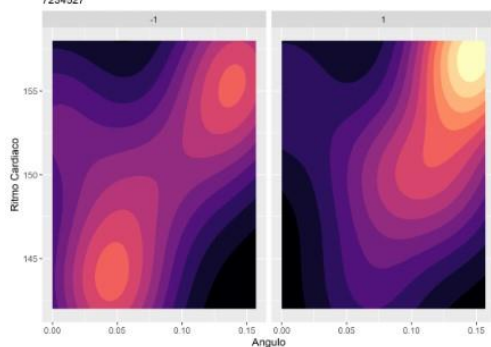
Tabla 3: Diagrama de densidad Ritmo Cardiaco vs Angulo



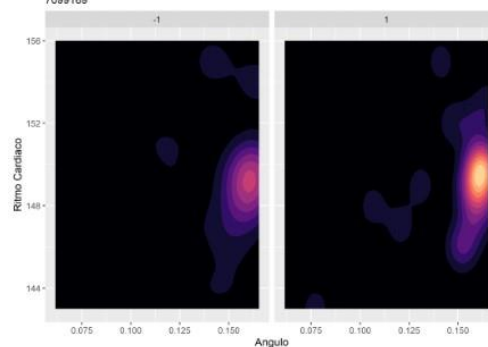




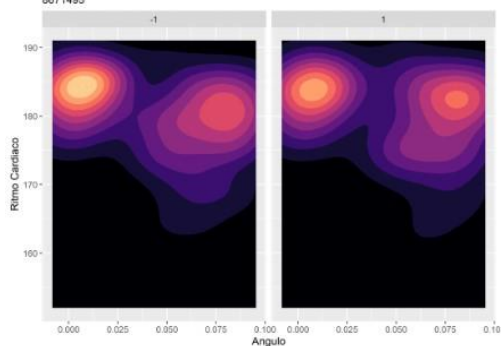
Ritmo Cardiaco vs Angulo atleta
7234527



Ritmo Cardiaco vs Angulo atleta
7099169



Ritmo Cardiaco vs Angulo atleta
8671495



Ritmo Cardiaco vs Angulo atleta
11658877

