Facultad de Ingeniería

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Grado – Segundo Semestre 2021

[203005] Desarrollo de plataforma para el mejoramiento de la postura de ciclistas

Juan Fernando Gutiérrez Corredor[a,c] , Santiago Pineda Gaviria[a,c] , Johan Nicolás Rodriguez Forero[a,c],

Alejandra Polanco Aguilar[b,c]

[a]*Estudiante de Ingeniería Industrial*
[b]*Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial*
[c]*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*

Resumen de diseño en Ingeniería

Since 2020, due to the social situation that has arisen, the number of people who decide to choose for a mobilization different from public transport has increased, making the bicycle an interesting alternative due to the health security it provides due to the absence of contact with other people. Many users are not used to traveling by this means and do not have enough information to make the correct adaptation of their bicycle or how the proper posture should be to carry out this activity. For this reason, they could suffer from short-term or long-term health problems due to their ignorance. There are several platforms where the user is informed how to adapt the bicycle to have a better posture and thus have a better performance. However, they are restricted because they are aimed at professional or road cyclists and generally involve a cost that can be high. This is how BikeRide appears, an application that allows the urban cyclists to improve the posture. This application works under a mathematical model based on the most important measurements that the bicycle must have, which have a direct impact on the cyclist's posture. Considering that in Bogota there are more people with an Android operating system on their cell phones, it was decided to publish the application for this audience, to have a higher reach. A survey to validate the functionality of the application was designed. The results show that the application has a positive impact on urban cyclists, because they reported being satisfied with the information provided by the mathematical model together with the recommendations that are suggested to cyclists to have a better posture and performance when using a bicycle. In this way, the objectives established for the project were met, since an improvement in the cyclists' posture was achieved from a mathematical model that was implemented through an application.

1. Justificación y planteamiento del problema

En el año 2020, la crisis sanitaria a causa del COVID-19 generó un problema para el ciudadano promedio en la ciudad de Bogotá, pues su principal medio de transporte, el transporte público, ha sido afectado debido a la cantidad de usuarios y la inseguridad que implica debido a la dificultad para cumplir con los protocolos de bioseguridad. A partir de esto, el uso de la bicicleta se fortalece como una alternativa para la movilización de la población, provocando un crecimiento importante en el uso de la misma. En un estudio realizado el 14 de mayo del 2020, se reveló que hay un total de 922.000 ciclistas en la ciudad de Bogotá [1], y en el 2018, el censo realizado [2] reveló que había más de 835.000 ciclistas en la capital durante ese año. Esto muestra un incremento de alrededor de 87.000 ciclistas en la ciudad en los últimos dos años.

El ciclismo es una actividad cíclica, lo cual indica que quienes la practican ejecutan movimientos repetitivos, y debido a esto, pueden presentar algunas lesiones o molestias debido al uso frecuente de la bicicleta. Investigando y consultando con profesionales de la salud, fue posible identificar los tipos de lesiones más comunes de los ciclistas, que suelen presentarse en la zona cervical y pélvica hasta los tobillos. Algunos de estos problemas

consisten en: cervicodorsalgias, dolor lumbar, síndrome álgico de carácter neurológico por apoyos prolongados sobre el hueso pisiforme, hiperextensión de la articulación del carpo, parestesias en los dedos 1º, 2º y 3º, endofibrosis de la arteria ilíaca externa, el conocido "tercer testículo" (higroma), tendinopatía rotuliana y cuadricipital [26].

Las lesiones mencionadas anteriormente suelen ser ocasionadas debido a que las personas no adecúan la geometría de su bicicleta a sus necesidades específicas (altura, peso, condiciones especiales, etc.), y por lo tanto, se ve afectada su postura al momento de realizar la actividad, siendo una de las causas de lesiones más comunes en ciclistas urbanos. Según [3], las cinco lesiones más frecuentes que se presentan al momento de utilizar la bicicleta son: la parálisis del manillar o neuropatía cubital, dolor lumbar, síndrome de la parálisis perineal del ciclista, rodilla de ciclista y síndrome del pie caliente. Estas lesiones, por lo general, están relacionadas con los elementos y el entorno en el que se encuentra el ciclista al momento de realizar la actividad, y por esta razón, son prevenibles si se cuenta con la información necesaria sobre postura y se realiza la adecuación indicada de la bicicleta [4]. Adicional a esto, los médicos determinan que estas lesiones se denominan cervicodorsalgias y problemas del aparato extensor de la rodilla, las cuales pueden tener su origen en deficiencias musculares y/o errores técnicos que intervienen en el gesto deportivo, que puede ser mitigado haciendo énfasis en el entrenamiento de la musculatura paravertebral [5]. De acuerdo a esto, se encuentra que las lesiones prevenibles más comunes de los ciclistas urbanos están relacionadas con la postura del cuerpo y la geometría de la bicicleta. Al consultar a profesionales y estudiantes en Ciencias de la Salud (Ver el Anexo 1), se identificaron como las lesiones más frecuentes en los ciclistas: tendinitis, principalmente en ligamentos de la rodilla o la cadera (aunque puede presentarse en otras áreas), y lumbalgias, debido a la postura adoptada.

Es importante que el ciclista ajuste la geometría de su bicicleta con respecto a su cuerpo y sus necesidades específicas, buscando minimizar su esfuerzo y la presión en las zonas que se ven afectadas más comúnmente, como la espalda baja, las muñecas, las rodillas y tobillos. Ajustando la posición de elementos como el sillín, el manubrio y los pedales, se puede modificar tanto el rango de movimiento de la articulación (ROM) como la presión mecánica que se ejerce sobre la misma. Según cómo se ajustan los elementos, habrá un incremento o reducción tanto en el ROM como en los ángulos de extensión y flexión de las articulaciones involucradas en posición sedente[6]. Esto incide directamente en la presión que la articulación debe soportar, por eso, es de gran importancia un ajuste adecuado de la geometría de la bicicleta. A partir de la consulta realizada al grupo de profesionales y estudiantes en Ciencias de la Salud (Ver Anexo 2), se identificaron algunas sugerencias para reducir la posibilidad de lesión al practicar ciclismo urbano. Entre estas se encuentra que el ángulo formado entre el torso y la pierna debe permanecer entre 140° y 150° con respecto al fémur, el tobillo entre 15° y 25°con respecto a la horizontal, la cadera debe oscilar sobre los 60° con respecto a la horizontal y el ángulo formado entre el tórax y el brazo debe permanecer en entre 60° y 90° en una posición sedente para la realización de la actividad, visto desde el plano sagital (Ilustración 1). Las lesiones en la espalda baja se deben principalmente a la posición que adopta la persona, sin embargo, es posible reducir el riesgo de padecer estas lesiones trabajando fuerza, estabilidad y elasticidad en el "core" (área que engloba toda la región abdominal y parte baja de la espalda), espalda baja y piernas. Adicionalmente, sugieren que el ciclista cambie de postura periódicamente cuando los recorridos sean prolongados.



Ilustración 1. Ángulos de posición adecuados en las rodillas (**ϕ**), ángulo Q (***β***), ángulo de los tobillos (***λ***), ángulo del tórax y el brazo (**α**).

Con el propósito de conocer el punto de vista de ciclistas urbanos respecto a la definición de su postura, se realizó una encuesta a 385 personas (Ver Anexo 3) que se encuentran entre los 14 y 63 años de edad, usuarios activos de bicicleta y que la utilizan como su transporte habitual. A las personas que respondieron afirmativamente a la pregunta *¿Ha sufrido de alguna lesión crónica relacionada con el uso de su bicicleta?*

(Debido al uso y no a accidentes y/o caídas), se les solicitó lo siguiente: *por favor, indique en qué parte del cuerpo se presentó la lesión.* Las respuestas del grupo encuestado permitieron confirmar los supuestos presentados en la revisión de antecedentes, ya que los usuarios hicieron fuerte referencia a las zonas del cuerpo cervicales, pelvis y extremidades inferiores. Por medio de la encuesta, se pudo identificar el supuesto de que algunos ciclistas urbanos no tienen el conocimiento de cómo ajustar la geometría de su bicicleta según la fisiología de su cuerpo y sus necesidades específicas. Lo anterior se identificó a partir de la pregunta *¿Después de adquirir su bicicleta le realizó ajustes a su geometría?* Además, en los resultados obtenidos, se determinaron las causas de las lesiones, dolores y/o incomodidades más comunes percibidas por los ciclistas. La pregunta elaborada a la población en cuestión para identificar las causas fue la siguiente: *Cree que estos dolores, incomodidades y lesiones se deban a:* (Ver Anexo 4 y Anexo 5). Esta información se puede ver reflejada en la Ilustración 2.

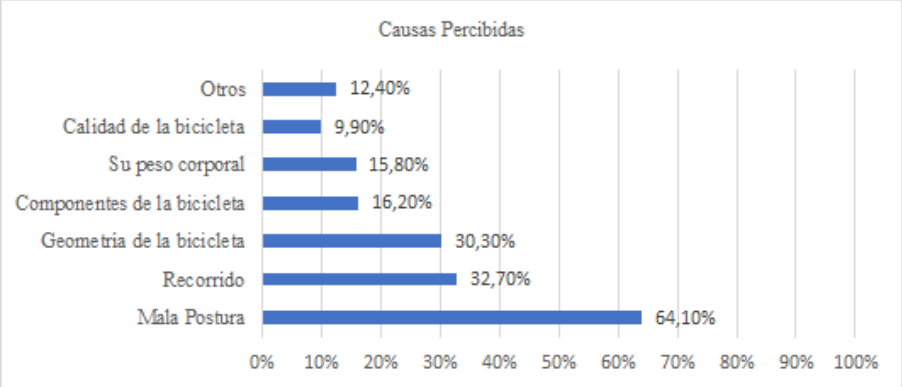


Ilustración 2. Causas de dolores o molestias percibidas por la población encuestada.

En la Ilustración 2, se puede identificar que un 64.1% de las personas perciben que las causas de las lesiones y/o dolores son la mala postura y la geometría de la bicicleta. Esto, junto con la opinión de estudiantes y profesionales en campos de la salud, como medicina y fisioterapia, valida el supuesto planteado inicialmente, y brinda un panorama más certero para determinar las causas de las lesiones y así poder disminuir la probabilidad de sufrir alguna de estas.

Para validar los supuestos encontrados en la encuesta realizada a los ciclistas urbanos, se realizó una prueba de Chi cuadrado en SPSS con el fin de confirmar el supuesto de dependencia entre las variables de dolores en la práctica con la mala postura. A partir de esto, se plantearon las siguientes hipótesis:

- H_o: Las variables son independientes.
- H_1: Las variables son dependientes.

En la Ilustración 3, se puede observar que a partir de los resultados de la prueba y con una significancia del 5%, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las variables de la mala postura y los dolores al momento de realizar la actividad son dependientes, ya que el p-valor (0,000) es menor a la significancia.

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	553,691[a]	4	,000
Razón de verosimilitud	483,945	4	,000
N de casos válidos	457		

Ilustración 3. Resultados prueba en SPSS.

En la actualidad, debido al rápido crecimiento de la tecnología, se ha podido evidenciar que la mayoría de la población busca soluciones para sus problemas cotidianos a través del uso de internet y/o la búsqueda de aplicaciones móviles que les permita solucionar el problema en específico que desean abordar. Es por ello que

la manera más viable de abordar este problema es por medio del desarrollo de una aplicación móvil para aquellos ciclistas urbanos que deseen establecer adecuadamente la geometría de su bicicleta. Además, es importante que estén interesados en disminuir los riesgos de padecer lesiones que en algún momento les impida realizar dicha actividad. Las soluciones actuales están enfocadas en ciclismo competitivo, pues existen aplicaciones (Ej. BikeFit, The Roadie Bike Fit, Bike Fit Calculator, Bike Fast Fit Elite, entre otras) que brindan información para tener la mejor postura posible, con el fin de tener un mejor rendimiento para quienes quieran practicar ciclismo deportivo. Sin embargo, debido a su enfoque, estas aplicaciones y plataformas resultan ser costosas y poco útiles para el ciclista urbano. A partir de esto surge la siguiente pregunta: *¿Es posible brindar información de manera clara y precisa a través de una aplicación móvil para que los ciclistas urbanos verifiquen, y si es el caso, adapten su postura en la bicicleta?*

2. Antecedentes

Se realizó una investigación sobre la posición que se debe adoptar en el ciclismo y las adecuaciones que deben hacerse a la bicicleta con el fin de evitar problemas de salud en quienes realizan esta actividad. Este proyecto se enfoca en ciclismo urbano, por lo tanto, es importante mencionar estudios e investigaciones presentes en la literatura para los problemas posturales y de adecuamiento de elementos deportivos, en particular de los tipos de bicicleta para los ciclistas urbanos. En la actualidad, se cuenta con páginas web enfocadas en ciclistas y su correcta postura, aplicaciones móviles que brindan la información para realizar un adecuamiento correcto de la bicicleta y estudios médicos con tratamientos y recomendaciones para el momento previo, durante y posterior a la realización de la actividad.

Es por esto que la presente sección estará dividida en dos partes: una, enfocada hacia las aplicaciones móviles y páginas web existentes en el mercado actual, y la otra, en investigaciones o estudios acerca del análisis postural.

Investigaciones o estudios acerca del análisis postural

Es común que los usuarios de bicicletas decidan recurrir a médicos cuando ya pueden estar presentándose situaciones críticas, provocando que los médicos hagan un llamado de atención a la realización de calentamiento y estiramiento previo y posterior de la realización de la actividad [12][13][14][25][33]. Esto con el fin de poder minimizar el riesgo de lesiones crónicas que incluso le impidan tener movilidad en la parte inferior del cuerpo a quien las padece.

Hay cierto tipo de lesiones que se pueden presentar en un usuario de la bicicleta aun siguiendo las recomendaciones médicas. Por ejemplo, el desgaste de las articulaciones por los movimientos cíclicos o por las posiciones en las que debe estar el cuerpo para su realización, pero con el debido cuidado es posible postergar el tiempo en que son presentados estos desgastes y/o molestias físicas.

Adicional a lo mencionado, es de vital importancia cuidar la posición del ángulo Q (visto desde el plano sagital) dentro de la posición sedente que debe adoptarse para la realización de la actividad (ver Ilustración 1). Este ángulo es el resultante entre dos segmentos: el primero es desde la espina ilíaca anterosuperior hasta el centro del torso, y el segundo, desde la espina ilíaca anterosuperior hasta el centro de la rótula [18]. Al momento de realizar la actividad en una bicicleta, se debe mantener el segundo segmento del ángulo en posición de cero grados. Lo anterior es de vital importancia para un ciclista, puesto que se disminuye significativamente la posibilidad de provocar una lesión en las rodillas. Además, la posición del ángulo se debe mantener constante (aproximadamente 60°), puesto que si este se agudiza aumentarán los riesgos de padecer problemas de salud. Al tener un ángulo Q erróneo no se presentan síntomas de fatiga o incomodidad, por lo que el usuario no llega a identificar algún problema de salud una vez que ya posea la lesión [26][27][28].

Han existido diversas investigaciones posturales y de adecuación de las bicicletas en el ámbito deportivo dentro del ciclismo competitivo, con el fin de alcanzar una mayor velocidad y ser más aerodinámicos dentro de las competencias y entrenamientos. De esta manera se puede tener en cuenta recomendaciones de las tres áreas principales de contacto entre el ciclista competitivo y su bicicleta, las cuales son [29]:

- Interfaz zapato-tacón-pedal.

- Interfaz de silla de montar a pelvis.
- Interfaz mano-manubrio.

Estas áreas de contacto son el principal punto de atención de los estudios, debido a que en caso de descuidar una de estas áreas, serán presentadas lesiones musculares en los ciclistas. Por esta razón, no solo se brindan recomendaciones de adecuamiento de la bicicleta y de postura, sino que también se mencionan recomendaciones en cuanto a la vestimenta que los ciclistas deben tener y los ángulos que estos deben adoptar en las distintas zonas del cuerpo que involucren las áreas de los tres puntos de contacto principales mencionados anteriormente[30][31][33].

Estas áreas no sólo son tenidas en cuenta para el ciclismo competitivo, sino que también entran a jugar un papel importante en todos los tipos de ciclismo. Por lo tanto, cuando estos estudios están enfocados a los ciclistas no competitivos, muestran la importancia de un correcto adecuamiento geométrico de la bicicleta y una adecuada postura. Así se dan a conocer las patologías que pueden llegar a presentarse en distintas zonas del cuerpo debido a ciertas modificaciones erróneas realizadas en la bicicleta, o una postura inadecuada para la realización de esta actividad [32].

En años anteriores en la Universidad Javeriana se han realizado varios trabajos de grado en diversas facultades (como lo es la Facultad de Arquitectura y Diseño y la Facultad de Ingeniería) enfocados en distintas necesidades del ciclista urbano y cómo disminuir sus incomodidades. De tal manera que se pueda brindar una mejor experiencia con la bicicleta, como lo es un rediseño y/o la manufactura de un sillín para los usuarios masculinos que les brinde comodidad durante su uso [35]. También, hay estudios que presentan el diseño de nuevos sistemas contenedores que le permitan al ciclista urbano movilizarse sin llevar objetos en su espalda, de manera tal que pueda minimizar el esfuerzo que este debe realizar para su movilización [36]. Además, se han propuesto accesorios que el ciclista urbano debería usar, con el fin de disminuir accidentes viales cuando hay escasez de luz natural. Uno de estos estudios propone una chaqueta la cual contiene señalizaciones para identificar los movimientos y la presencia del ciclista urbano dentro de las vías[37] [38].

Aplicaciones móviles y páginas web

En el mercado actual existe una amplia variedad de páginas web y aplicaciones móviles enfocadas en el ciclismo, principalmente de ruta. Esto conlleva a que los resultados que arrojan tanto las aplicaciones como las páginas web sean útiles para cada tipo de usuario de la bicicleta, bien sea aficionado o competitivo, con la correcta adaptación de la información suministrada en estas.

En el caso de las aplicaciones, unas solicitan videos y/o fotos del usuario montando su bicicleta para poder realizar un análisis interno sobre su postura y las medidas de la bicicleta. Otras solicitan medidas corporales, con el fin de poder brindarle al usuario medidas en milímetros, centímetros y/o pulgadas que debería tener cada parte de la bicicleta. Muchas de estas brindan un análisis detallado, pero por medio del pago de los servicios "pro" o "premium" que brinda la aplicación. En la Ilustración 4 se puede observar las interfaces principales de las aplicaciones en cuestión (Ver Anexo 6) [7]-[11]. De estas aplicaciones mencionadas anteriormente, es importante aclarar que ninguna está enfocada en el ciclismo urbano, sino que se encuentran enfocadas en otros tipos de ciclismo como el ciclismo de montaña o el ciclismo deportivo enfocado a triatletas.

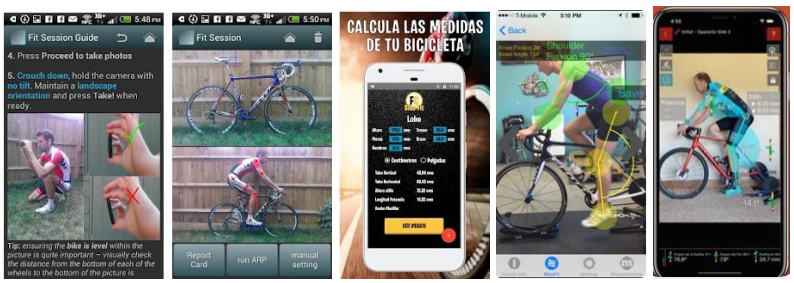


Ilustración 4. Interfaces de las aplicaciones móviles existentes.

En cuanto a las páginas web, se encuentra que en muchas se presentan diversidad de consejos acerca del adecuamiento de las bicicletas para el ciclismo de ruta con un poco más de formalidad y lenguaje técnico. Así mismo, se presentan cálculos e infografías que permiten al lector tener un apoyo visual para realizar el ajuste necesario dependiendo de la necesidad que este posea. Además, clasifican los tipos de ajustes según las zonas del cuerpo en las cuales pueda presentar el usuario dolores o incomodidades [20]-[23].

3. Objetivos

Objetivo general:

Desarrollar una aplicación móvil que a partir de las funciones básicas del celular brinde información a ciclistas urbanos para el ajuste geométrico de su bicicleta considerando una correcta postura.

Objetivos específicos:

- Establecer la información de entrada que debe aportar el usuario y la información de respuesta que se brindará al usuario para ajustar su bicicleta, a partir de una encuesta aplicada a los ciclistas urbanos.
- Deducir un modelo matemático para la aplicación móvil por medio de un lenguaje de programación.
- Validar la eficiencia del uso de la aplicación móvil analizando los resultados del uso por parte de usuarios.

4. Cuerpo del documento

Metodología:

En el presente proyecto, se buscó encontrar la manera de tener y aportar información y herramientas para ayudar a mejorar la postura de los ciclistas urbanos. Se sabía que los usuarios normalmente desconocen cómo utilizar la bicicleta de manera correcta, es decir que no tienen conocimiento en las medidas que se deben utilizar, los elementos de seguridad, calentamientos y estiramientos, elementos que tienen un impacto en la salud de las personas a corto y largo plazo. De esta manera se desarrolló BikeRide, una aplicación para el sistema operativo Android que le permite al ciclista conocer cuáles son las medidas apropiadas de su bicicleta para mejorar su postura y su salud (Ver Ilustración 5). Esto se hizo por medio del diseño de un modelo matemático, donde era necesario determinar los puntos más importantes de la bicicleta y las medidas necesarias por persona, para poder determinar cuáles serían los datos que recogería el modelo y los datos que brindaría la aplicación una vez obtuviera la información. Para corroborar el funcionamiento de la plataforma, se diseñó una encuesta donde se le pedía al usuario su opinión sobre la experiencia de uso y también sobre la información que otorga la aplicación. De esta manera se pudo validar los resultados del proyecto y analizar la eficiencia del mismo.

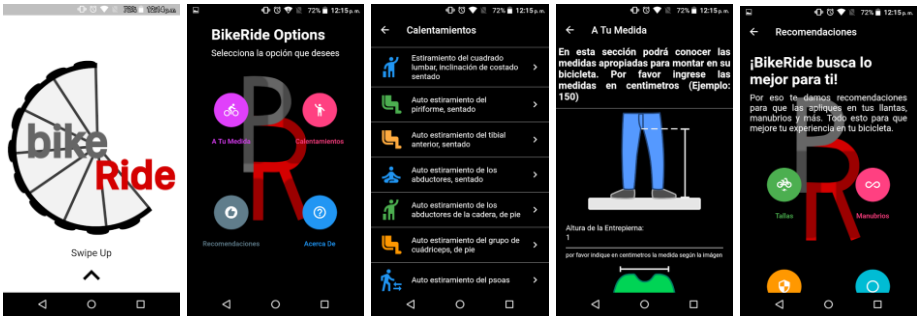


Ilustración 5. Interfaz de la aplicación.

Alistamiento:

BikeRide se desarrolló con el objetivo de ayudar al ciclista urbano de Bogotá a adecuar la geometría de su bicicleta, de tal forma que la posición que este adopte mientras usa su bicicleta sea correcta, y evite de esta manera, lesiones y dolores que pueden presentarse si no se adoptan posiciones adecuadas. Para esto se realizó una encuesta a ciclistas urbanos de la ciudad de Bogotá, con la cual se buscaba conocer su percepción frente a la postura a la hora de montar bicicleta, cómo esta afecta su salud y si tenía conocimiento sobre cómo adecuar su bicicleta correctamente. De esta forma se logró identificar las necesidades principales de nuestros usuarios. También se consultaron diversas fuentes de información sobre posturas correctas, dimensiones adecuadas para montar bicicleta y sus variaciones, implicaciones de posturas incorrectas debido a la geometría de la bicicleta entre otros, información obtenida de artículos científicos enfocados en ciclismo y consultas a profesionales de la salud, como doctores y fisioterapeutas.

A partir de la información obtenida se determinaron las funciones y el contenido que debía tener la aplicación, con el fin de responder a las necesidades que se identificaron de los ciclistas urbanos de Bogotá a partir de las respuestas de los usuarios de bicicleta a la encuesta aplicada en la fase previa de este proyecto (Ver Anexo 5), la mayoría se refieren a carencia de conocimiento e información sobre su bicicleta y sus componentes. Luego, se realizó un diagrama de flujo (Ilustración 6), que definiría la experiencia que tendría el usuario, a partir de este diagrama se definieron las secciones que tiene la aplicación, cuál sería la información de entrada, así como la de salida, y tener una mejor visión de la estructura de la aplicación.

Se definió que la aplicación tendría cuatro secciones, A tu medida, Calentamientos, Recomendaciones y Acerca de, debido a la naturaleza de cada sección se definió también que dos de estas deberían tener subdivisiones. En estas cuatro secciones los usuarios encuentran las medidas que debe tener su bicicleta, consejos y sugerencias, opciones de movimientos de preparación muscular y articular para prevenir lesiones y dolores, e información relevante sobre los creadores de la aplicación.

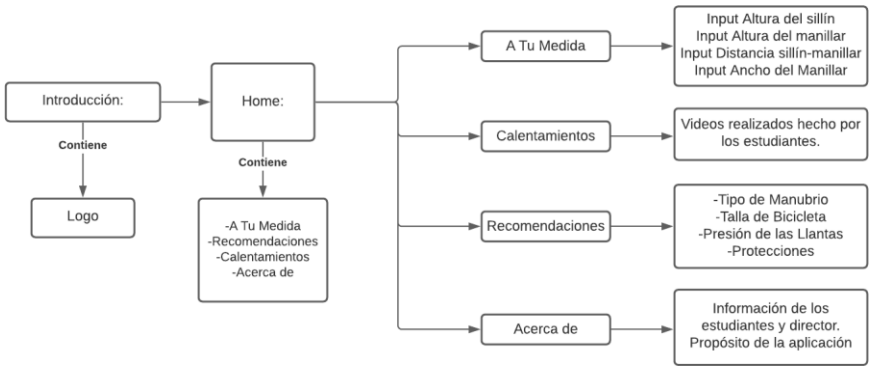


Ilustración 6. Diagrama de uso de la aplicación.

La primera sección, en la cual el usuario obtendrá las medidas correctas para su bicicleta, se realizó a partir de un modelo matemático, el cual usa como parámetros las medidas corporales del usuario, y a partir de estas devuelve las medidas que debe tener la bicicleta. La sección de sugerencias y consejos contiene información relevante para el usuario, como implementos de seguridad, condiciones técnicas adecuadas para un correcto uso de la bicicleta y más. Los ejercicios de preparación muscular y articular que se encuentran en la sección de "Calentamientos" se escogieron con la ayuda de profesionales de la salud (Ver Anexo 3), y están enfocados a la preparación del cuerpo y su recuperación de acuerdo a la actividad específica que está por realizar, o acaba de culminar (ciclismo).

Desarrollo:

El desarrollo de la aplicación tuvo varias etapas, como se mencionó anteriormente, primero se definió la estructura de la aplicación por medio del diagrama de flujo, en el cual se muestran las funciones que debería tener la aplicación según las secciones a desarrollar. La primera sección es "A tu medida", en la cual el usuario

obtendrá las medidas correctas para su bicicleta, esta sección se realizó a partir del desarrollo de un modelo matemático, que usa como parámetros las medidas corporales más relevantes del usuario a tener en cuenta al momento de ajustar la geometría de la bicicleta, las cuales fueron escogidas basándonos en la información recolectada en la fase previa del proyecto[29][30][31][32], se definieron los siguientes datos de entrada:

- Altura entrepierna
- Largo del tronco
- Largo del brazo
- Ancho de hombros

A partir de estos datos de entrada, y teniendo en cuenta la posición indicada del cuerpo y los rangos de movimientos recomendados para cada grupo articular involucrado (hombro, muñeca, cadera, rodilla, tobillo) según la biomecánica y ergonomía en el ciclismo [6] [17] [18][19] [23] [27] [28] [30] [33], se desarrolló un modelo matemático que permitiera encontrar las medidas adecuadas para cada persona, entregando al usuario las siguientes medidas que debe tener su bicicleta:

- Altura sillín
- Altura manillar
- Distancia sillín-manillar
- Ancho manillar

La medida para la altura del sillín corresponde al 88% de la altura de la entrepierna, la altura del manillar resulta ser la misma que la altura del sillín y la distancia entre el sillín y el manubrio resulta ser el cateto adyacente de un triángulo formado por los brazos del ciclista, su tronco y la distancia horizontal entre el sillín y el manillar como se muestra en la Ilustración 7 [18][19][20][30][39][40]. Por esta razón, se utilizan las siguientes ecuaciones:

Datos de entrada (Parámetros):

- E: Altura entrepierna
- K: Anchura de hombros
- T: Longitud del torso
- B: Longitud del brazo

Datos de salida (Variables):

- h: Altura del Sillín.
- m: Altura del manillar
- d: Distancia Sillín - Manillar
- a: Ancho del Manillar

Modelo matemático:

- $h = 0.88 * E$
- $m = h$
- $d = \sqrt{T^2 + B^2 - 2TB * cos\ 60^o}$
- $a = K$



Ilustración 7. Triángulo formado por el ciclista y la bicicleta.

Con el fin de dar cumplimiento a las principales características de un modelo matemático que son: Simplicidad, Objetividad, Sensibilidad y Estabilidad. Uno de los objetivos principales de un modelo matemático es simplificar la realidad para poder entenderla mejor, de esta manera se logra la simplicidad. En cuanto a la objetividad, se refiere a que no tenga sesgos teóricos ni de los prejuicios o ideas de sus diseñadores. De la misma manera, para que el modelo asegure una sensibilidad, tiene que ser capaz de reflejar los efectos de pequeñas variaciones. Por último, para obtener estabilidad, el modelo debe asegurar que no se altere significativamente cuando hay cambios pequeños en las variables [46]. Debido a la manera en la que se desarrolló el modelo, es posible asegurar que hay cumplimiento en las características de Simplicidad y Objetividad. Sin embargo, para comprobar la sensibilidad y estabilidad del modelo se recurrió a realizar pruebas estadísticas teniendo como base los datos de medidas promedio de los habitantes de la Ciudad de Bogotá y con base a esto, se recurrió a tomar 10 medidas por encima y 10 medidas por debajo para ver la variación que tenía el modelo con dichos datos.

Inicialmente definieron los parámetros de entrada que se mantendrían constantes y el orden en el cual se iban a modificar los demás parámetros (ver Anexo 10). Para el primer caso se realizaron modificaciones en el parámetro de Altura de la entrepierna y se observó la variación obtenida correspondiente a la Altura del Sillín y la Altura del Manillar, siendo estas las variables de salida. De esta manera, se obtuvo una variabilidad del 88% en las variables relacionadas, y a nivel del modelo en general una variabilidad del 44%.

Para el segundo caso se realizaron modificaciones en el parámetro de Ancho de los hombros y se observó la variación obtenida correspondiente a la Anchura del manillar, siendo esta la variable de salida. De esta manera, se obtuvo una variabilidad del 100% y a nivel del modelo en general una variabilidad del 25%.

Para el tercer caso se realizaron modificaciones en el parámetro de Longitud del Tronco y se observó la variación obtenida correspondiente a la Distancia Sillín-Manillar, siendo esta la variable de salida. De esta manera, se obtuvo una variabilidad del 33,5% y a nivel del modelo en general una variabilidad del 8.38%.

Para el cuarto caso se realizaron modificaciones en el parámetro de Longitud del Brazo y se observó la variación obtenida correspondiente a la Distancia Sillín-Manillar, siendo esta la variable de salida. De esta manera, se obtuvo una variabilidad del 84,5% y a nivel del modelo en general una variabilidad del 21.13%.

Es importante aclarar que, aunque exista una alta sensibilidad en cada una de las variables relacionadas a los parámetros modificados individualmente, en el modelo general no se presentan inconvenientes en su estabilidad, debido a que las demás variables del modelo permanecen constantes puesto que los parámetros relacionados a las variables no presentan modificaciones.

Finalmente, se realizó una modificación en paralelo de todas las medidas, con el fin de poder observar la variación promedio obtenida dentro de cada una de las variables relacionadas al modelo, obteniendo así una variabilidad del 93%, indicando que el modelo es capaz de adaptarse a los mínimos cambios que puedan ser realizados y obteniendo una baja estabilidad. Esto se debe a la naturaleza de la elaboración del modelo, ya que busca generar la mejor postura que debe adoptar el ciclista urbano con el fin de mitigar lesiones que pueda llegar a presentar debido a la mala postura.

Adicionalmente, se presenta R^2 (en el caso en que son modificados todos los parámetros) con un valor de 1. Este valor corresponde al porcentaje de la variación en la variable de respuesta que es explicado por un modelo lineal. Donde el 0% indica que el modelo no explica ninguna porción de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media y 100% indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno

a su media [47]. El estudio realizado demuestra que para los cuatro datos de salida hay un 100% de variabilidad de los datos con respecto a la media, por lo cual se asegura el cumplimiento de la Sensibilidad y de la misma manera se da cumplimiento de la Estabilidad ya que los resultados del modelo matemático no se alteran significativamente con pequeños cambios en las variables.

Por último, para un ciclista urbano la medida de la anchura del manillar será igual a la anchura de los hombros del individuo. La sección de sugerencias y consejos contiene información relevante para el usuario, como implementos de seguridad, condiciones técnicas adecuadas para un correcto uso de la bicicleta, como la talla recomendada según su altura, presión de los neumáticos sugerida según su peso y más. Los movimientos de preparación muscular y articular se escogieron con la ayuda de profesionales de la salud, y están enfocados a la preparación del cuerpo para la actividad específica que está por realizar (ciclismo), haciendo énfasis en la activación de piernas, espalda baja y hombros.

El siguiente paso se refiere al diseño, se propusieron tipos de diseño de la aplicación y alternativas de interfaz que fueran visualmente agradables, claras e intuitivas para el usuario. Se realizó el mismo proceso para definir los logos de la aplicación, pues se requiere un logo principal para la aplicación y uno más sencillo y de menores dimensiones para su visualización en la PlayStore. Finalmente se determinaron las opciones más adecuadas a consideración del grupo de trabajo y se procedió a la programación de las mismas.

El menú principal de la aplicación y el de la sección “Recomendaciones” se hicieron conjuntamente, pues se usa la misma estructura para ambos, posteriormente se programó esta sección, en la cual se incluye texto e imágenes, por lo cual fue necesario tener en cuenta los tipos de vista, dimensiones y definición de estas imágenes, las cuales provienen de un banco de imágenes libres de derechos de autor. Inicialmente se decidió usar videos explicativos para la sección en la cual se proponen ejercicios de preparación muscular y articular, pero finalmente se usaron archivos GIF 's debido a que la cantidad de memoria que ocupan estos archivos, es menor a la que ocupan los videos, permitiendo un mejor funcionamiento de la aplicación.

Finalmente se incluyeron las referencias de la información suministrada y se programó la sección “Acerca de”, la cual incluye información relevante sobre los autores de la aplicación y la docente que lidera el proyecto. Cuando se obtuvo la primera versión de la aplicación se hizo una revisión general y una retroalimentación sobre la misma, a partir de la cual se hicieron algunos cambios, como agregar un menú para los ejercicios de preparación muscular y articular y agregar información relevante sobre los tipos de manubrio.

Validación:

Luego de culminar el desarrollo de la aplicación y su publicación en la Play Store de Google, era necesario que la personas tuvieran la experiencia de uso de la aplicación para así determinar cuáles eran los puntos fuertes y los aspectos para mejorar. Por esta razón se convocó a los ciclistas de manera presencial o de manera virtual, esto debido a la coyuntura sanitaria que empezó en el año 2020, generando que ciertas personas no se sintieran cómodas por miedo al contagio. Para aquellos que estuvieron de acuerdo con la modalidad presencial, se les pidió la descarga de la aplicación y que la utilizaran sin ninguna guía; de esta manera, se determinaba si para el usuario la interfaz era intuitiva y de fácil uso. Se les pedía que se tomaran las medidas que requiere la aplicación, introducirlas y efectuar el cambio en la bicicleta. Una vez realizado el cambio, la persona utilizaba la bicicleta durante un periodo de 30 minutos, para luego determinar si el usuario percibió algún cambio con las nuevas medidas. Sin embargo, debido a la emergencia sanitaria presente desde el año 2020, no todos los participantes de la convocatoria se sentían cómodos realizando las pruebas con más personas cerca. Las pruebas se hicieron de manera virtual utilizando un emulador de Android lo cual le permitía al usuario utilizar la aplicación desde el computador. Era importante que el ciclista tuviera la oportunidad de utilizar la aplicación por su propia cuenta y que estuviera en igualdad de condiciones con respecto a las personas que realizaron las pruebas de manera presencial. El total de personas que fueron encuestadas fue de 63, de las cuales, 22 personas asistieron a la convocatoria presencialmente y 41 personas, por motivos de protección de su salud con respecto a la pandemia del Covid-19, realizaron la prueba de manera remota. Una vez terminada la prueba, donde el usuario tomaba sus medidas y las introducía en la aplicación, se les solicitaba que hicieran los respectivos ajustes en la bicicleta. Además, el usuario solo tenía la oportunidad de llenar la encuesta una vez hubiera realizado un recorrido en su bicicleta de al menos 30 minutos después de haber realizado las modificaciones propuestas, ya que este es el

tiempo donde el cuerpo empieza a presentar fatiga, provocando que los músculos involucrados realicen un esfuerzo para que se empiece a quemar calorías y así notar un cambio físico [48]. En la Ilustración 8 se ejemplifica a las personas utilizando BikeRide:



Ilustración 8. Usuarios realizando pruebas a la aplicación en modalidad presencial.

Análisis de resultados:

Para evaluar la aplicación, su funcionalidad, diseño y demás características, se realizó una encuesta a los primeros usuarios para conocer sus opiniones al respecto. Inicialmente se estableció un número mínimo de encuestas a realizar, el teorema del límite central nos muestra que para una muestra suficientemente amplia (n>= 30), se garantiza una distribución aproximadamente normal, se escogió este n (30). Sin embargo, era conocido para el grupo de trabajo que obtener esta cantidad de respuestas, en las condiciones actuales, podría haber presentado complicaciones, así, todos los integrantes se intentó obtener la mayor cantidad de respuestas posibles, compartiendo la aplicación con ciclistas urbanos conocidos, y con aquellos que previamente se registraron para ser los primeros en probar la aplicación, de esta forma se alcanzó fácilmente el objetivo planteado y se superó ampliamente, obteniendo finalmente retroalimentación de 63 ciclistas urbanos habitantes de la ciudad de Bogotá.

La encuesta pretendía conocer la funcionalidad de BikeRide para el usuario, y como este percibe la aplicación en diferentes aspectos, como diseño, calidad de la información, y que tan intuitiva es, por eso se diseñaron preguntas que nos permitieran obtener esta información. La encuesta se presenta en el Anexo 7.

Es importante entender cuáles son los elementos de la encuesta que están relacionados o no, por medio de la definición de variables cualitativas que permiten determinar cuáles de las variables más importantes tienen relación. Para esto, se realizó la prueba estadística chi cuadrado que utiliza una aproximación a la distribución chi cuadrado, para evaluar la probabilidad de una discrepancia entre los datos y las frecuencias esperadas según la hipótesis nula. Una prueba de chi-cuadrado consiste en una prueba de hipótesis que compara la distribución observada de los datos con una distribución esperada de los datos. [41][42][43][44][45] Luego se realizan las pruebas de hipótesis, donde se establece la hipótesis nula Ho y la hipótesis alternativa H1 que serán los supuestos que podrán determinar si las variables son dependientes o lo contrario. Para determinar si la hipótesis nula es verdadera o si se rechaza, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \left[\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \right]$$

Donde Oi es el valor observado y el Ei es el valor esperado. Luego, se busca el valor de X 2 a partir de una tabla de frecuencia utilizada para esta prueba en específico. Para el proyecto, se utilizó el software SPSS un programa estadístico informático que permite encontrar estos valores a partir de la información obtenida de la encuesta realizada. Es importante aclarar que todas las pruebas fueron realizadas con una significancia del 5%.

En el proyecto se realizaron dos pruebas de chi cuadrado, donde la primera menciona las siguientes variables:

- Presenta dolor antes de realizar modificaciones sugeridas por BikeRide.
- Partes del cuerpo donde el usuario presenta dolor al usar la bicicleta.

A partir esto se plantearon las hipótesis:

- H_o: Las variables son independientes.
- H_1: Las variables son dependientes.

El resultado obtenido en la prueba realizada por SPSS fue:

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	63,000[a]	5	,000
Razón de verosimilitud	83,731	5	,000
N de casos válidos	63		

Ilustración 9. Resultados de la segunda prueba en SPSS.

Los resultados muestran que como el p-valor (0,00) es menor a la significancia, se concluye que la variable donde el usuario presenta dolor antes de realizar modificaciones sugeridas por BikeRide y la variable de las partes del cuerpo donde el usuario presenta dolor al usar la bicicleta, son dependientes.

Para la segunda prueba se revisaron las siguientes variables:

- Presenta dolor antes de realizar modificaciones sugeridas por BikeRide.
- El dolor se modificó luego de realizar los cambios sugeridos por BikeRide.

A partir esto se plantearon las hipótesis:

- H_o: Las variables son independientes.
- H_1: Las variables son dependientes.

El resultado obtenido en la prueba realizada por SPSS fue:

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	63,000[a]	5	,000
Razón de verosimilitud	83,731	5	,000
N de casos válidos	63		

Ilustración 10. Resultados de la tercera prueba en SPSS.

Los resultados muestran que como el p-valor (0,00) es menor a la significancia, se concluye que la variable donde el usuario presenta dolor antes de realizar modificaciones sugeridas por BikeRide y la variable donde dolor se modificó luego de realizar los cambios sugeridos, son dependientes.

El objetivo principal de este proyecto se enfoca en mejorar la postura del ciclista urbano mientras usa su bicicleta, evitando así dolores y lesiones debidas a este factor, a partir de una configuración geométrica específica. Es de suma importancia validar que la aplicación cumple con esta función, para los usuarios iniciales de BikeRide, la aplicación sí lo hace, como se observa en la Ilustración 11 el 96,8% de las personas que realizaron modificaciones a su bicicleta siente que su postura al montar cambió.

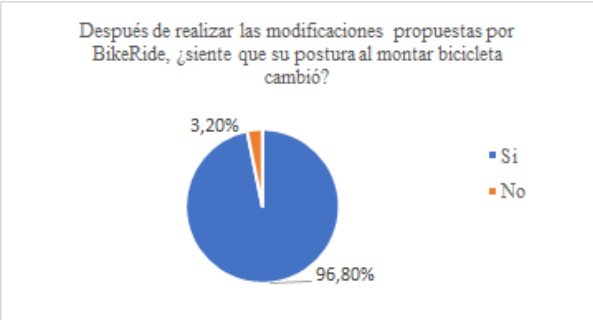


Ilustración 11. Respuesta Pregunta 6.

Es importante resaltar que el 61.92% de la población sentía algún dolor y/o molestia mientras realizaba la actividad, y se encontró que el 87,18% de los dolores que sienten los usuarios son en la espalda, como se observa en las Ilustraciones 12 y 13.

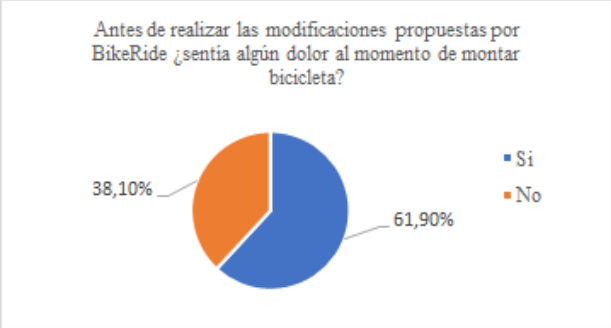


Ilustración 12. Respuesta pregunta 7.

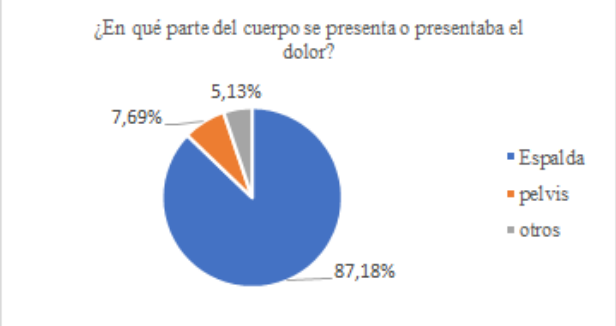


Ilustración 13. Respuesta pregunta 10.

De aquellas personas que sentían dolor, todos percibieron que su dolor disminuyó después de realizar los ajustes propuestos (Ilustración 14), validando la función de la aplicación y los supuestos iniciales en los que se atribuyen estos dolores a la postura del ciclista mientras realiza la actividad, además de las respuestas obtenidas en la encuesta, se encontró un desempeño positivo de la aplicación, toda la población considera que la aplicación cumple las funciones para las que fue diseñada y la mayoría (79.4 %) considera que la información presentada para hacerlo es útil (Ilustración 12 y 13).

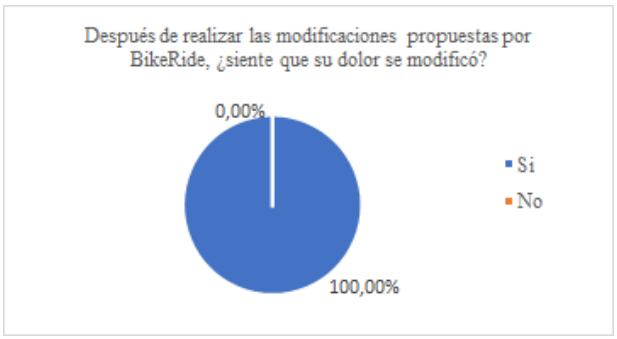


Ilustración 14. Respuesta pregunta 11.

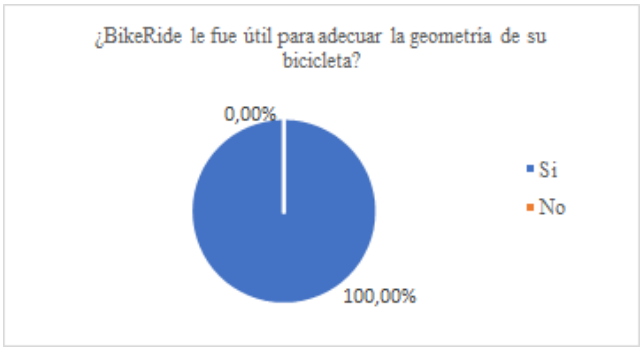


Ilustración 15. Respuesta pregunta 1.

En la Ilustración 16 se puede ver que los usuarios perciben en su mayoría que la información presentada es pertinente y confiable, el 79.4% considera muy útil la información presentada y el 20.6% restante la considera útil.

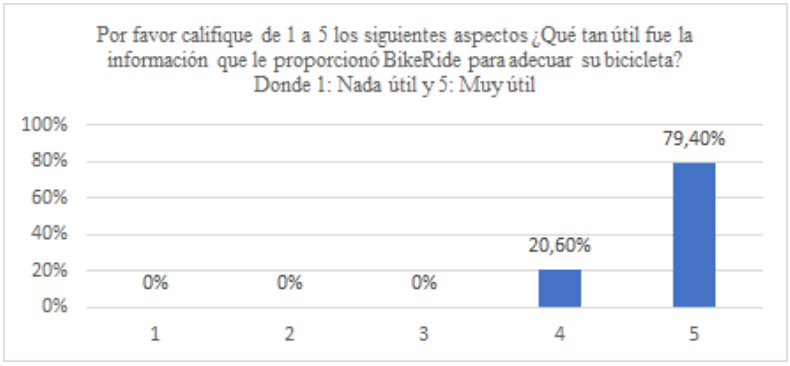


Ilustración 16. Respuesta pregunta 2.

Los resultados obtenidos por SPSS de las pruebas también permitieron conocer los porcentajes de disminución de dolores por parte del cuerpo a partir de una tabla cruzada, como se puede evidenciar en la Ilustración 17. Los resultados son satisfactorios pues en ningún usuario aumentó el dolor en la locación del cuerpo que antes presentaba dolor alguno. El lugar con mayor relevancia fue la espalda, pues era el sector del cuerpo con más casos de dolor y en un 52,4% aseguraron que el dolor disminuyó luego de las indicaciones de las medidas proporcionadas por la aplicación. Por otro lado, se encuentra un 38,1% que corresponde a un No Aplica (NA) que demuestra que no hubo aumento de dolor en ninguna parte del cuerpo.

Tabla cruzada DoloresCuerpo*DolorModificado

			DolorModificado		
			Disminuyo	NA	Total
DoloresCuerpo		Recuento	0	24	24
		% del total	0,0%	38,1%	38,1%
	Espalda	Recuento	33	0	33
		% del total	52,4%	0,0%	52,4%
	Genitales	Recuento	1	0	1
		% del total	1,6%	0,0%	1,6%
	Gluteos	Recuento	2	0	2
		% del total	3,2%	0,0%	3,2%
	Pies	Recuento	2	0	2
		% del total	3,2%	0,0%	3,2%
	Rodillas	Recuento	1	0	1
		% del total	1,6%	0,0%	1,6%
Total		Recuento	39	24	63
		% del total	61,9%	38,1%	100,0%

Ilustración 17. Tabla de contingencia de la cuarta prueba en SPSS.

El diseño de la aplicación fue la sección en la que las respuestas fueron más fluctuantes mientras el 55.6% piensa que el diseño bueno o excelente, el 9.5% es indiferente y el restante 34.9% considera que es malo o pésimo (Ilustración 18). La mayoría de los comentarios están enfocados en el mejoramiento del diseño, información importante para tener en cuenta para futuras actualizaciones (Ver Anexo 7 para revisar la encuesta realizada, este proyecto se desarrolló teniendo en cuenta el cronograma de ejecución presente en el Anexo 8).

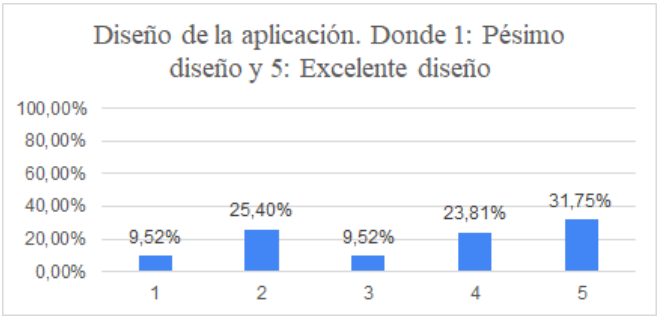


Ilustración 18. Respuesta pregunta 3.

5. Componente de Diseño en ingeniería

Declaración de Diseño: El objetivo del proyecto es el desarrollo de una aplicación móvil que a partir de ciertas medidas corporales, pueda brindar información al ciclista urbano sobre la adecuación geométrica de su bicicleta y cómo tener una postura adecuada al hacer uso de esta. La aplicación se desarrolló a partir del estudio e información suministrada por usuarios de bicicleta y profesionales de la salud (Ver Anexo 1) sobre problemas comunes que se pueden presentar en los ciclistas, así como formas, métodos y consejos para evitarlos. La aplicación está enfocada en la minimización de problemas de salud y/o lesiones de los ciclistas urbanos que se deban al uso constante de la bicicleta, lo que indica que para el desarrollo de la solución se debe considerar la interacción entre los ciclistas y sus bicicletas.

Proceso de Diseño: Se inició realizando un borrador que proponía cuales serían los elementos más importantes que debería tener la aplicación. Luego, se construyó el modelo matemático que sería el pilar principal de la aplicación pues es el que brinda la información necesaria para obtener la postura adecuada del ciclista.

Una vez determinada la información que debía proporcionar la aplicación al usuario, se establecieron cuáles serían las secciones que debería tener la aplicación y cómo sería la experiencia de uso. Se buscó que la

aplicación fuera básica, intuitiva y sencilla para que el usuario no tuviera incidentes con el entendimiento del proyecto. La Ilustración 6 muestra el diagrama de flujo para el uso de la aplicación. A partir de las medidas anteriormente mencionadas, se escribieron como ecuaciones, permitiendo codificar estos elementos en la aplicación. Luego, por medio del curso online *Flutter: Tu guía completa de desarrollo para iOS y Android* se logró construir la interfaz de la aplicación a medida que se completaban los módulos del curso, siguiendo el diseño que se había determinado con el diagrama de flujo.

Requerimientos de desempeño:

Los requerimientos de desempeño parten de revisar qué tan útil y funcional es la aplicación para los usuarios y qué tan útil es la aplicación. A partir de esto, se revisa el modelo matemático que es el pilar general del proyecto, ya que este es el elemento que más impacto tiene en el usuario, debido a que es el encargado de obtener las medidas adecuadas de la bicicleta que ayudará cambiar la postura y mejorar de manera directa e indirecta la salud del ciclista.

5.1. Pruebas de rendimiento:

Las pruebas que se realizaron para garantizar que los requerimientos de desempeño fueran cumplidos se realizaron a partir de la implementación de la encuesta donde se verificaba que el modelo matemático diseñado sí demostrara resultados que indicara que sí hay una mejora de la postura del ciclista. Para demostrar esto, se hizo una convocatoria de ciclistas para que utilizaran la aplicación y que se hicieran las medidas respectivas de cada individuo. Luego, se introducen los datos en la aplicación para que esta devuelva la información necesaria para tener una postura correcta en la bicicleta. La Ilustración 15 muestra que para los usuarios, la aplicación tuvo un impacto positivo, pues fue de gran ayuda para que el ciclista modificara mejor o incluso por primera vez la geometría de la bicicleta. El rendimiento de la aplicación es el adecuado, pues como se puede ver en la Ilustración 14, los usuarios perciben que el dolor que antes padecían se modificó y disminuyó. Este resultado demuestra que el modelo matemático planteado tiene un efecto positivo en los usuarios y por ende tiene un rendimiento adecuado de acuerdo a los requerimientos de desempeño.

5.2. Restricciones:

Desde el inicio del proyecto, se estableció que la aplicación se implementaría en Android debido a que la gran mayoría de las personas son usuarios de este sistema operativo y por esta razón, habría más cabida con los usuarios [34]. Sin embargo, el lenguaje con el que se desarrolló la aplicación es flexible en cuanto a la implementación en los sistemas operativos, ya que funciona de igual manera en un desarrollo en Windows o en Mac. La principal restricción fue que ninguno de los desarrolladores poseía un Mac para desarrollar de manera paralela la aplicación. Al encontrar la solución, pues solamente consistía en copiar el código, el costo de inscripción anual de la aplicación resulta ser alto e impide, por el momento, incluir a los usuarios de iOS y tener mayor cobertura.

Una segunda restricción, consistía en que los datos de salida se debían obtener a partir de datos de entrada y un modelo matemático. La información que debía brindar la información dependía directamente de los datos que introduciría el usuario y se debía encontrar la manera en que estos elementos se expresaran de una manera matemática. Para esto, se determina que la medida para la altura del sillín corresponde al 88% de la estatura de la entrepierna, la altura del manillar resulta ser la misma que la altura del sillín, la medida de la anchura de los hombros es igual a la anchura del manillar y finalmente, la distancia entre el sillín y el manubrio resulta ser el cateto adyacente de un triángulo.

La tercera y última restricción, consistía en que para obtener los datos de salida se debe tener en cuenta el tipo de bicicleta que escogió el usuario. Durante el desarrollo se concluyó que a pesar de que existen

diversos tipos de bicicletas, las medidas para realizar ciclismo urbano son las mismas para todo en cada tipo de bicicleta debido a que lo que tiene relevancia son las medidas del usuario.

Con las restricciones mencionadas anteriormente se puede verificar que el proyecto fue factible.

5.3. Cumplimiento del estándar:

El objetivo principal de este proyecto consistía en el desarrollo de una aplicación móvil que a partir de las funciones básicas del celular brinde información a ciclistas urbanos para el ajuste geométrico de su bicicleta considerando una correcta postura. Esto se logró a partir de la implementación de un modelo matemático que permite que de la manera más sencilla y básica, el usuario conozca las medidas necesarias para el uso de ciclismo urbano. A partir del modelo matemático se pudo establecer cuáles eran los elementos que debía recibir la aplicación y cómo estos estarían relacionados con la información que recibiría el usuario. Además, se realizaron pruebas para validar que este modelo matemático tuviera un impacto en la postura y también en su salud. Esto se logró por medio de la convocatoria de los ciclistas y que utilizaran la aplicación, tomaran las medidas y luego dieran su opinión acerca de BikeRide. A partir de los resultados de las encuestas, se validó la información, realizando la prueba chi cuadrado con las variables más relevantes de la encuesta. Con lo mencionado anteriormente, se puede ver que los modelos establecidos se cumplieron de manera clara y por esta misma razón, el diseño final del proyecto cumple con lo establecido en el proyecto de grado.

Sin embargo, la aplicación no solo brinda información a partir de los datos que genera el modelo matemático. Tiene elementos que hacen que el usuario tenga un conocimiento más amplio de la geometría de la bicicleta y también ayuda a que el ciclista conozca cuáles son los elementos que lo ayudarán a tener un mejor desempeño al usar su bicicleta y tener un mayor impacto en la salud de cada individuo. La aplicación brinda información sobre el tallaje de las bicicletas dependiendo de la estatura del usuario, también ofrece elementos que ayudan a tener un amplio conocimiento de la influencia de la presión de los neumáticos al hacer uso de la bicicleta. Por otro lado, brinda consejos de seguridad, que hace al usuario más consciente de los elementos de protección personal y de la bicicleta que se deben tener en cuenta en el ciclismo urbano. Elementos extra a un modelo matemático hacen que el diseño del proyecto supere el estándar declarado en el proyecto de grado.

6. Resultados

El objetivo general de este proyecto era desarrollar una aplicación, que brinde al ciclista urbano información sobre la adecuación geométrica de su bicicleta considerando una buena postura, el cual se cumplió a cabalidad. BikeRide le proporciona al ciclista urbano información crucial sobre temas a tener en cuenta a la hora de montar bicicleta, con un enfoque especial en encontrar la geometría específica que debería tener la bicicleta del usuario, teniendo en cuenta sus particularidades. Para esto se desarrolló un modelo matemático, que, a partir de unos

datos definidos de entrada (medidas antropométricas del usuario) retorna al usuario las medidas en centímetros de la bicicleta sugeridas para él o ella.

Establecer la información de entrada que debe aportar el usuario y la información de respuesta que se brindará al usuario para ajustar su bicicleta, a partir de una encuesta aplicada a los ciclistas urbanos.	Se realizó una encuesta para determinar cuáles eran las causas de los dolores o molestias de las personas al realizar ciclismo urbano (ver Anexo 5) y el 64,1% de los encuestados respondieron que se debe a la mala postura de los ciclistas. A continuación, se realizó un diagrama de flujo (Ilustración 6), que definiría la experiencia que tendría el usuario, a partir de este diagrama se definieron las secciones que tiene la aplicación, cuál sería la información de entrada, así como la de salida, y tener una mejor visión de la estructura de la aplicación. La información de entrada se establece a partir de las medidas corporales más relevantes del usuario a tener en cuenta al momento de ajustar la geometría de la bicicleta, las cuales fueron escogidas basándonos en la información recolectada en la fase previa del proyecto[29][30][31][32]. La información requerida se resumió en cuatro elementos: ● Altura entrepierna ● Largo del tronco ● Largo del brazo ● Ancho de hombros A partir de estas medidas y siguiendo el diagrama de flujo, se obtiene la información de respuesta que se brindará al usuario para ajustar la bicicleta. Esta información es la siguiente: ● Altura del Sillín. ● Altura del manillar ● Distancia Sillín - Manillar ● Ancho del Manillar Estas medidas se pueden expresar de manera matemática y se traducen al modelo matemático.

Deducir un modelo matemático para la aplicación móvil por medio de un lenguaje de programación.	Para el modelo matemático planteado, a la información de entrada y de salida se denominan como parámetros y variables, asignándoles letras y así tener una mayor organización en las ecuaciones. De esta manera se obtiene:
	
	Datos de entrada (Parámetros):
	
	● E: Altura entrepierna del usuario.
	● K: Anchura de hombros del usuario.
	● T: Longitud del torso del usuario.
	● B: Longitud del brazo del usuario.
	
	Datos de salida (Variables):
	
	● h: Altura del Sillín.
	● m: Altura del manillar
	● d: Distancia Sillín - Manillar
	● a: Ancho del Manillar
	
	Modelo matemático:
	
	● $h = 0.88 * E$
	● $m = h$
	● $d = \sqrt{T^2 + B^2 - 2TB * cos\ 60^o}$
	● $a = K$
	
	Lo cual llevado al lenguaje de programación de flutter (Dart) es traducido de la siguiente forma:
	
	`double result = int.parse(piernas)*0.88;`
	`resulttext = result.toStringAsFixed(1);`
	`double resultsm = sqrt((int.parse(tron)*int.parse(tron))+`
	`(int.parse(homM)*int.parse(homM))-`
	`(2*int.parse(tron)*int.parse(homM))*cos(3.1416/3));`
	`resulttext2 = resultsm.toStringAsFixed(1);`
	
	A partir de esto podía hacer el proceso de cálculo internamente con el fin de poder brindarle al usuario en valor de las variables (secciones a modificar de su bicicleta), dando un cumplimiento a cabalidad del objetivo específico propuesto (Ver Anexo 9).
	
	Estos datos de salida, es la información que se entrega al usuario para ajustar su bicicleta de forma correcta, lo que modifica su postura mientras realiza esta actividad, como se mencionó previamente es de suma importancia que la postura que adopte el ciclista mientras usa su bicicleta sea correcta, y así pueda evitar y prevenir lesiones o molestias relacionadas, esto se validó con los usuarios iniciales de la aplicación, los cuales percibieron que su postura cambió después de realizar los ajustes propuestos, y aquellos que sentían dolor mientras realizaban la actividad experimentaron una disminución en este después de ajustar la geometría de su bicicleta, lo cual nos permite afirmar que la información de retorno que proporciona BikeRide al ciclista urbano cumple con las características esperadas.

Validar la eficiencia del uso de la aplicación móvil analizando los resultados del uso por parte de usuarios.	Se diseñó una encuesta para determinar si el modelo matemático cumplía con lo establecido. Las dos preguntas y sus respectivas respuestas permitieron dar un resultado positivo para el modelo y de la misma manera a la aplicación. La pregunta *¿BikeRide le fue útil para adecuar la geometría de su bicicleta?* dió un resultado del 100% de los usuarios, afirmando que sí fue de ayudar para mejorar la postura de la bicicleta. Sin embargo, esto no rectifica que el modelo matemático haya sido el responsable del éxito, pues hay más información en la aplicación que ayuda a mejorar la geometría de la bicicleta. Por esta razón, las siguientes dos preguntas rectifican el funcionamiento del modelo, en donde se preguntaba *Antes de realizar las modificaciones propuestas por BikeRide ¿sentía algún dolor al momento de montar bicicleta?* el 61,9% de las personas afirmaban que sentían dolor antes de realizar las modificaciones. Esta pregunta confirma el supuesto de que las personas al realizar ciclismo urbano no tienen conocimiento de cómo adecuar su bicicleta y tener una mejor postura y rendimiento, pues la mayoría de las personas encuestadas afirmaron sentir dolor. La siguiente pregunta de la encuesta es la que confirma que el modelo matemático tuvo un impacto positivo en los usuarios, pues se preguntaba *Después de realizar las modificaciones propuestas por BikeRide, ¿siente que su dolor se modificó?* donde el 100% de las personas dice que el dolor disminuyó. (Ver Anexo 7).

Tabla 1. Resultados.

Medición del impacto

A partir del desarrollo del proyecto y de su implementación, se encontraron impactos potenciales que puede llegar a tener el proyecto en diferentes áreas:

Financiero: La bicicleta es el medio de transporte más económico actualmente, el bogotano promedio se transporta usando transporte público, y gasta en promedio 7.200 pesos diarios, esto quiere decir que la persona que opta por cambiar su medio de transporte y usar bicicleta en cambio de transporte público reducirá sus gastos en promedio 216.000 COP al mes, lo que implica un alto impacto en su economía, teniendo en cuenta que el ingreso promedio en en Colombia es de 1’130.000 COP, esta reducción representa la quinta parte de sus ingresos mensuales.

Ambiental: Actualmente la crisis ambiental nos muestra que es cada vez más importante tomar acciones para remediar, o al menos reducirla un poco, la contaminación del aire es uno de los problemas más comunes en las grandes ciudades, afectando tanto la calidad del aire en la ciudad, como la salud de sus habitantes. En Bogotá, el material particulado es emitido en su mayoría por el transporte (79%), de modo que la forma más efectiva de reducir estas emisiones, es disminuir el uso de los medios de transporte que usen combustibles fósiles mientras se incentiva el uso de otros medios de transporte, como la bicicleta. Si bien el proyecto no se enfoca directamente en la promoción del uso de bicicleta como medio de transporte alternativo, le brinda herramientas tanto al que usa la bicicleta como medio de transporte, como a los nuevos y potenciales usuarios de bicicleta sobre cómo escoger y adecuar su bicicleta de forma correcta, solucionando una de las razones principales por las cuales las personas no deciden usar la bicicleta como medio de transporte, desconocimiento sobre estos aspectos básicos y temor a tomar acciones erróneas que puedan perjudicar su salud eventualmente.

Social: Teniendo en cuenta los potenciales impactos mencionados anteriormente es evidente que también se genera un impacto social positivo mediante el desarrollo del proyecto, generando un beneficio en la economía y en la salud del usuario, debido a factores como el desarrollo de actividad física regular, disminución de gastos mensuales (transporte) y la posibilidad de eventualmente respirar un aire más limpio, así se puede observar que no solo el usuario es quien obtiene beneficios, sino que la comunidad también lo hace.

7. Limitaciones, conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones:

En este proyecto se desarrolló una aplicación móvil para apoyar a los ciclistas urbanos a ajustar su postura. El uso de la aplicación permite a los ciclistas definir la postura a su medida con impactos positivos en la disminución de los dolores o molestias que se presentan al hacer uso de la bicicleta.

El desarrollo del proyecto permitió identificar oportunidades de mejora a partir de la realimentación de los primeros usuarios en cuanto a la mejora de la experiencia de uso para que sea más agradable y concreta. Estas oportunidades de mejora aparecen debido a las limitaciones que tiene el proyecto, pues debido a que se requiere de un mayor conocimiento en el lenguaje del código y al tiempo limitado para desarrollar la aplicación.

Para cumplir los primeros dos objetivos específicos se establecieron los parámetros de entrada los cuales son longitud del tronco, longitud del brazo, altura de la entrepierna y anchura de los hombros. También se desarrolló un modelo matemático que a partir de estos datos de entrada obtuviera los datos de salida, estos son la altura del manillar, la altura del sillín, la distancia sillín - manillar y la anchura recomendada del manillar

De la misma forma para el cumplimiento del último objetivo específico se validó la aplicación por medio de la aplicación de una encuesta a los usuarios iniciales de BikeRide, encontrando gran aceptación de la aplicación y sugerencias para mejorar la interfaz de la misma.

Para descargar la aplicación utilizar el siguiente link:
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tesis.bikeride

Limitaciones:

La principal limitación del proyecto fue el espacio para mostrar la aplicación al público, ya que se vio afectada debido a la coyuntura sanitaria precedente del año 2020 en donde algunos usuarios no sintieron comodidad en compartir un espacio cercano con otras personas. Esto impidió lo que se tenía planeado desde un principio, pues el objetivo era realizar pruebas de manera presencial a todos los usuarios. Esto, sin lugar a duda provocó una nueva limitación, ya que impidió que en ciertas pruebas el usuario no tuviera la oportunidad de utilizar sin ninguna guía.

Del mismo modo, al subir la APK, formato de archivo que se usa para "empaquetar" aplicaciones para el sistema operativo Android, tenía un límite de espacio de 100 megabytes. Sin embargo, la APK de BikeRide superaba este límite debido a los videos utilizados para los calentamientos y las imágenes de referencias. Por esta razón, la solución fue disminuir la calidad de estos elementos; para los videos se hizo una conversión a archivo GIF y para las imágenes se utilizó una aplicación web llamada LunaPic. Esto tuvo un impacto visual en la aplicación, debido a que como se mencionó, la calidad de los archivos disminuyó, perjudicando la nitidez de los elementos visuales.

Recomendaciones:

Por otro lado, la encuesta diseñada tenía la casilla de dar recomendaciones a la aplicación, por medio de la pregunta *Por favor realice sugerencias para mejorar la aplicación* donde la mayoría de las recomendaciones o sugerencias resultaron ser positivas. En general, las recomendaciones resultan ser elementos que pueden ayudar a mejorar la experiencia de uso, debido a que son comentarios con el objetivo de mejorar la calidad del diseño de la aplicación. Se presentaron comentarios como: *"Unas recomendaciones para mejorar la interfaz es que traten de evitar los fondos totalmente negros, tal vez otros colores más claros permitan hacer del contenido un poco más llamativo. No estoy segura, pero en una parte de la aplicación el fondo es el logo y personalmente siento que eso distrae, me parecería ideal que el fondo sea plano y el logo lo incorporen a una sección más pequeña en alguna parte de la pantalla. Una buena estrategia para saber en dónde se encuentra el usuario cuando navega en una aplicación es tener siempre un menú de íconos que indican en qué sección me encuentro, como en Instagram (como era antes) que si estoy en la página principal se resalta un icono, y si me voy a los likes se resalta el corazón y así..."* o *"Le pueden meter un poco más de diseño: poner colores de*

acuerdo al logo, poner un tipo de letra más chévere, hacer que las imágenes de los estiramientos y las bicicletas sean más limpias, que las tablas sean más divertidas, tal vez con una flechita de despliegue o algo así, y meterle menos texto o hacerlo más interactivo"[1] Los comentarios mencionados y como se puede ver en el Anexo 8 demuestran que los usuarios quieren encontrar una mejora en la experiencia mejorando el diseño de la aplicación para que se vuelva más atractiva para el espectador. También proponen ideas que sirven para futuras actualizaciones y lograr tener una aplicación que sea no solamente ese enfoque en la postura del ciclista, sino que brinde más servicios que hagan que la experiencia del usuario sea mucho más agradable.

Para concluir, es evidente que la aplicación cumple con lo establecido desde un principio, pues a partir de las pruebas realizadas los usuarios sienten la diferencia en su postura, que de manera directa tiene una influencia en la salud del ciclista. Lo mencionado se logra a partir del diseño de un modelo matemático que fue implementado en una aplicación móvil. Los resultados mostrados en la encuesta muestran una gran aceptación por parte de los usuarios, demostrando que BikeRide sí cumple con el mejoramiento de la posición de los ciclistas urbanos y esto se logró implementando un modelo matemático. Sin embargo, siempre se buscó que tuviera un impacto en la sociedad y, aunque se llegó a tener un gran impacto, la aplicación tiene el potencial para presentar mejoras y así brindar más posibilidades para mejorar la salud de los ciclistas. Esto parte de los comentarios realizados por quienes realizaron las pruebas de la aplicación, pues presentaban nuevas ideas que permitirían un mejor desempeño de la aplicación, sin dejar a un lado los elementos ya propuestos en el proyecto.

8. Referencias

[1] El Tiempo. (2020, 17 mayo). La bici será el pilar de la nueva movilidad en Bogotá, tras Covid-19. El Tiempo. Recuperado 10 de agosto de 2020, de https://tinyurl.com/y5x8hngj

[2] Cuevas, A. M. (2018, 25 junio). Más de 835.000 personas se mueven en bicicleta en Bogotá. Bogota.gov.co. Recuperado 10 de agosto de 2020, de https://tinyurl.com/y5sj4ybk

[3] Las lesiones más comunes del ciclista. (s. f.). Healthia salud deportiva. Recuperado 20 de agosto de 2020, de https://healthia.es/blog/entrenamientos/lesiones-comunes-del-ciclista/

[4] Rivara, F. P., Thompson, D. C., Patterson, M. Q., & Thompson, R. S. (1998). Prevention of Bicycle-Related Injuries: Helmets, Education, and Legislation. Annual Review of Public Health, 19(1), 293-318. Recuperado 25 de agosto de 2020, de https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.19.1.293

[5] Gómez Puerto, J. R., Silva Grigoletto, M. E., Viana Montaner, B. H., Vaamonde, D., & Alvero Cruz, J. R. (2008, 1 agosto). La importancia de los ajustes de la bicicleta en la prevención de las lesiones en el ciclismo: aplicaciones prácticas | Revista Andaluza de Medicina del Deporte. ELSEVIER. https://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-la-importancia-los-ajustes-bicicleta-13127530

[6] Fonda, B., Sarabon, N. (2010, enero). Biomechanics of cycling. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/269514219_Biomechanics_of_Cycling

[7] Mantapix Ltd. (s. f.). The Roadie Bike Fit - Apps en Google Play. Google Play. Recuperado 5 de septiembre de 2020, de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mantapix.android.theroadiebikefit&hl=es_CO

[8] BALOSTUDIO (s. f.-a). Bike Fit calculator, medidas cuadro bicicleta - Apps en Google Play. Google Play. Recuperado 5 de septiembre de 2020, de https://play.google.com/store/apps/details?id=bike.fit.size.calculator&hl=es_CO

[9] BeFit Apps Ltd. (2016, 21 enero). BikeFit. App Store. Recuperado 5 de septiembre de 2020, de https://apps.apple.com/us/app/bikefit/id1072347985

[10] BikeFit. (2017, 28 mayo). App Store. Recuperado 5 de septiembre de 2020, de https://apps.apple.com/co/app/bikefit/id893725744?l=es

[11] Bike Fast Fit Elite. (2020, 22 julio). App Store. Recuperado 5 de septiembre de 2020, de https://apps.apple.com/co/app/bike-fast-fit-elite/id1145619812

[12] El calentamiento antes del ejercicio | 50 Dominadas. (s. f.). 50 Dominadas. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de http://www.50dominadas.com/programa-de-las-50-dominadas/el-calentamiento-antes-del-ejercicio

[13] Sarmiento, S. (2018, 4 abril). Estiramientos Básicos Antes de Rodar en Tu Bici. Bicicletas de montaña - Optimus Bikes. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de https://www.optimusbikes.com/blogs/tips-ciclismo/estiramientos-basicos-antes-de-montar

[14] QGSC. (2017, 19 octubre). Estiramientos en ciclismo: ¿por qué son necesarios? Qué grande ser ciclista. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de https://www.quegrandeserciclista.com/10-estiramientos-en-ciclismo/

[15] Viajes El Corte Inglés obtiene la certificación ISO/IEC 25000 para la calidad de datos. (s. f.). iso25000. Recuperado 30 de septiembre de 2020, de https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000

[16] Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models. (2011). ISO. Recuperado 30 de septiembre de 2020, de https://pdfs.semanticscholar.org/57a5/b99eceff9da205e244337c9f4678b5b23d25.pdf

[17] Álvarez, A. (2016, 11 julio). Geometría de la bici de MTB: medidas, ángulos y lo que significan. MTB Pro magazine. Recuperado 15 de agosto de 2020, de https://tinyurl.com/y5cadtc7

[18] Lopez, J. F. (2015, 21 junio). El ángulo Q de la rodilla, un factor lesivo para muchos deportistas. Sportadictos. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de https://sportadictos.com/2015/06/angulo-q-rodilla

[19] Lopez, C. L. (2017, 31 octubre). Todo sobre el Psoas Iliaco o Iliopsoas, importancia y funciones. FisioOnline. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de https://www.fisioterapia-online.com/articulos/todo-sobre-el-psoas-iliaco-o-iliopsoas-importancia-y-funciones

[20] Posición sobre la Bicicleta. Biolaster. (s. f.). Biolaster. Recuperado 17 de agosto de 2020, de https://www.biolaster.com/ciclismo/posicion-ciclista-bicicleta/

[21] Sanchis Saenz, C. (2015, 27 septiembre). ¿Cómo es la posición sobre la bicicleta de los ciclistas y triatletas profesionales? Grupo Sobre Entrenamiento (G-SE). Recuperado 8 de agosto de 2020, de https://g-se.com/como-es-la-posicion-sobre-la-bicicleta-de-los-ciclistas-y-triatletas-profesionales-bp-s57cfb26dc82fc

[22] ¿Debes cambiar tu posición sobre la bici? (s. f.). brujulabike.com. Recuperado 18 de agosto de 2020, de https://www.brujulabike.com/posicion-erronea-bicicleta/

[23] Bouhet, M. (s. f.). Biomecánica casera: los primeros ajustes a tu MTB. Mtb pro. Recuperado 8 de agosto de 2020, de https://www.mtbpro.es/afondo/biomecanica-casera-los-primeros-ajustes-tu-mtb

[24] Viajes El Corte Inglés obtiene la certificación ISO/IEC 25000 para la calidad de datos. (s. f.-b). ISO 25000. Recuperado 1 de octubre de 2020, de https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010

[25] McAtee, R., & Charland, J. (2009). Estiramientos facilitados: Estiramientos y fortalecimiento con facilitación neuromuscular propioceptiva (3.a ed., Vol. 1). Editorial Médica Panamericana. https://drive.google.com/file/d/1iw-EyLGNAfOzVoMaLAEY2eoLWAvJqBVp/view

[26] Sanchis Saenz, C. (2015, 3 junio). Factor Q. Grupo Sobre Entrenamiento (G-SE). Recuperado 29 de septiembre de 2020, de https://g-se.com/factor-q-bp-p57cfb26db9041

[27] Cebollada, A. (2020, 14 junio). Patrón de pedaleo y alineación de las piernas para una «pedalada perfecta». Triatlón. Recuperado 8 de agosto de 2020, de https://www.triatlonweb.es/entrenamiento/bici/patron-de-pedaleo-y-alineacion-de-las-piernas-para-una-pedalada-perfecta_16347_102.html

[28] ¿Conoces la importancia del ángulo Q de la rodilla? (2015, 4 agosto). Bulevip. Recuperado 29 de septiembre de 2020, de https://bulevip.com/blog/conoces-la-importancia-del-angulo-q-de-la-rodilla/

[29] Silberman, M. R., Webner, D., Collina, S., & Shiple, B. J. (2005). Road Bicycle Fit. Clinical Journal of Sport Medicine, 15(4), 271-276. https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000171255.70156.da

[30] Briggs, M. S., & Obermire, T. (2016). Clinical Considerations of Bike Fitting for the Triathlete. Endurance Sports Medicine, 215-227. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32982-6_16

[31] Madden, C., Putukian, M., McCarty, E., & Young, C. (2017b). Netter's Sports Medicine E-Book (Netter Clinical Science) (English Edition) (2.a ed., Vol. 1). Elsevier. https://drive.google.com/file/d/1boAR9TxEwzUBULXF_kgdj5GenCiw6oyU/view

[[32] Bourguigne, V. (2012, junio). Alteraciones posturales y lesiones en ciclistas amateurs. Universidad F.A.S.T.A.
http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/213/2012_K_028.pdf?sequence=1

[33] Márquez, C. J., Pérez, L., & Tocino, D. (2017, 17 junio). Análisis biomecánico para ciclistas. Universidad Complutense de Madrid. https://eprints.ucm.es/44668/1/Memoria.pdf

[34] Tamayo, J. (2015, 4 diciembre). El 86,6% de los colombianos usan Android y solo el 7,9% usa iOS. Recuperado 5 de noviembre de 2020, de https://www.xataka.com.co/investigacion/el-86-6-de-los-colombianos-usan-android-y-solo-el-7-9-usa-ios

[35] Martínez Mora, F., Morales López, J. J., & Cifuentes Acero, P. (2019, 6 noviembre). Diseño y manufactura de un sillín para bicicleta urbana en la ciudad de Bogotá. Repositorio Institucional. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/45536

[36] Parra Muñoz, J. D., Muñetón Martínez, A. C., & Perilla González, E. (2018, 3 diciembre). "GUÁÑAMO" Diseño de sistema objetual que garantice la comodidad del ciclista en relación con el transporte y la protección de objetos de uso cotidiano. Haciendo usos de materiales de bajo impacto ambiental (cáñamo y guadua). Repositorio Institucional. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/38987

[37] Pérez Buitrago, J. E. (2018, 19 octubre). Luciérnaga : promover al ciclista urbano como un actor ejemplar de la vía desde el diseño industrial. Repositorio Institucional. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/38215

[38] Arango Castillo, P. A., & Castro García, J. A. (2018, 29 noviembre). Emprendimiento soportado en el diseño de productos para ciclistas. Repositorio Institucional. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/3890