



Máster Universitario en Sistemas Inteligentes

Trabajo Final de Máster

---

**Symptoms: Una plataforma de analíticas  
para dar soporte a tratamientos  
psicológicos**

---

*Autor:*  
Alberto González Pérez

*Tutor:*  
Joaquín Huerta Guijarro  
*Co-tutor:*  
Sven Casteleyn

Fecha de lectura: 14 de septiembre de 2018  
Curso académico 2017/2018

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>8</b>
1.1. Contexto científico . . . . .	8
1.2. Objetivos . . . . .	9
1.3. Enfoque . . . . .	10
1.4. Estructura . . . . .	10
<b>2. Trabajo relacionado</b>	<b>12</b>
2.1. <i>Ecological momentary assessment</i> y <i>Ecological momentary intervention</i> . . .	12
2.2. Aplicaciones configurables . . . . .	13
2.3. Empleo de datos procedentes de sensores . . . . .	14
2.4. Empleo de datos de ubicación . . . . .	14
<b>3. La plataforma Symptoms</b>	<b>16</b>
3.1. Requisitos . . . . .	16
3.2. Visión general del sistema . . . . .	19
3.3. Casos de uso . . . . .	21
3.3.1. Terapeuta inscribiendo a un paciente . . . . .	21
3.3.2. Paciente activando la aplicación . . . . .	36
3.3.3. Terapeuta analizando el comportamiento de un paciente . . . . .	38
<b>4. Arquitectura del sistema</b>	<b>42</b>
<b>5. Diseño e implementación</b>	<b>44</b>
5.1. Aplicación móvil . . . . .	44
5.1.1. Componentes relacionados . . . . .	44

5.1.2. Arquitectura y diseño internos . . . . .	46
5.2. Aplicación web . . . . .	48
5.2.1. Componentes relacionados . . . . .	48
5.2.2. Arquitectura y diseño internos . . . . .	49
5.3. Servicios de analíticas . . . . .	51
5.3.1. Componentes relacionados . . . . .	52
5.3.2. Arquitectura y diseño internos de cada uno de los servicios . . . . .	55
<b>6. Evaluación</b>	<b>61</b>
6.1. Evaluación de la aplicación móvil . . . . .	61
6.2. Evaluación de la aplicación web . . . . .	63
6.3. Evaluación de los servicios de análisis . . . . .	66
<b>7. Conclusión</b>	<b>68</b>
7.1. Resumen . . . . .	68
7.2. Resultados y contribuciones . . . . .	69
7.3. Trabajo futuro . . . . .	70
7.4. Nota personal . . . . .	71
<b>Bibliografía</b>	<b>73</b>

## Índice de figuras

1.	Visión general de la plataforma desarrollada, incluyendo futuras extensiones.	19
2.	La primera pantalla que ve un terapeuta tras iniciar sesión en la aplicación web.	21
3.	Formulario que permite dar de alta a un paciente nuevo. . . . .	22
4.	Listado de plantillas de configuración incluidas en el sistema. . . . .	23
5.	Plantilla de configuración para tratar la depresión, con gráficos de ejemplo de los diferentes análisis incluidos. . . . .	23
6.	Formulario de registro de paciente totalmente cumplimentado. . . . .	24
7.	Asistente para la creación de una configuración de aplicación para un paciente.	25
8.	Edición de un <i>widget</i> de tipo mapa con el selector de mapa base desplegado.	25
9.	Edición de un <i>widget</i> de tipo mapa con el selector de capa adicional desplegado.	26
10.	Estado de un <i>widget</i> de tipo mapa tras aplicar varios cambios durante su edición.	27
11.	Edición de un <i>widget</i> de tipo gráfica. . . . .	28
12.	Algunos de los tipos de gráficas disponibles durante la edición de una gráfica cuyo contenido es una serie de datos temporal. . . . .	29
13.	Asistente de configuración mostrando el catálogo de analíticas disponibles. . .	30
14.	Resultado de añadir un análisis adicional en el asistente de configuración. . .	32
15.	Paso opcional del asistente de configuración que permite añadir información adicional con el objetivo de ofrecer una mejor ayuda al tratamiento. . . . .	33
16.	Lugares importantes, un ejemplo de información adicional que pueden incluir los terapeutas con el objetivo de facilitar el tratamiento. . . . .	33
17.	Pantalla de espera que se muestra mientras el asistente finaliza el alta del paciente y su configuración. . . . .	34
18.	Pantalla mostrando la clave de acceso generada para el paciente tras su registro.	35

19. Aplicación móvil solicitando la entrada del usuario: (a) solicitud de clave de acceso al paciente (b) solicitud de confirmación de datos de paciente (nº de expediente) . . . . .	36
20. Interacción adicional de la aplicación móvil con el usuario: (a) solicitud de permisos (b) notificación configurada por el terapeuta cuando llega a un lugar determinado . . . . .	37
21. Pantalla de bienvenida mostrando los pacientes del terapeuta que se encuentran en tratamiento. . . . .	38
22. Pantalla que permite evaluar el comportamiento de un paciente a lo largo del tratamiento. . . . .	39
23. Pantalla de evaluación de paciente con el selector de fechas extendido. . . . .	40
24. Pantalla de evaluación de paciente con el selector de horario extendido. . . . .	40
25. Pantalla de evaluación con resultados de análisis filtrados por rango de fechas e intervalo horario. . . . .	41
26. Arquitectura del sistema desarrollado (los colores de las flechas representan el componente al que se conectan y los números la secuencia habitual de llamadas entre componentes). . . . .	42
27. Aplicación Android y elementos de la plataforma con los que interactúa (los colores de las flechas representan el componente al que se conectan). . . . .	45
28. Estructura interna de la aplicación Android, de más alto a más bajo nivel (los colores de las flechas representan la conectividad de cada componente con el resto). . . . .	46
29. Aplicación web y elementos de la plataforma con los que interactúa (los colores de las flechas representan el componente al que se conectan). . . . .	49
30. Estructura interna de la aplicación web, de más alto a más bajo nivel (los colores de las flechas representan la conectividad de cada componente con el resto). . . . .	50
31. Arquitectura del ecosistema de servicios (incluyendo los protocolos de comunicación empleados entre los diferentes componentes). . . . .	52
32. Camino que sigue una petición HTTP autorizada al llamar a la puerta de enlace de la API. . . . .	56
33. Evaluación de la utilidad de la herramienta por un grupo de terapeutas. . . . .	64

- 34. Evaluación de la usabilidad de la herramienta por un grupo de terapeutas. . . 65
- 35. Adjetivos y calificaciones de las diferentes puntuaciones de la escala SUS. . . 65
- 36. Comparativa del cálculo automático de la residencia habitual de un paciente: (a) residencia del usuario 1 (b) residencia del usuario 2. En rojo el área dibujada por el usuario, en azul el área calculada (púrpura al superponerse) . 66

## Índice de cuadros

1. Tipos y subtipos de gráficos disponibles en función del formato de la fuente de datos. . . . .	29
2. Analíticas disponibles actualmente en la plataforma y que pueden ser añadidos a cualquier configuración. . . . .	31
3. Comparativa de comportamiento de la aplicación móvil, antes y después de las mejoras aplicadas. . . . .	62
4. Comparativa de comportamiento de la aplicación móvil empleando dispositivos diferentes. . . . .	63

## **Prefacio**

Hechos acontecidos recientemente han demostrado, para bien o para mal, el potencial de los smartphones para recabar información sobre las personas que los emplean en su día a día. Algunas de las compañías más grandes del planeta se han dedicado a recolectar, procesar y extraer información de utilidad (para su propio beneficio) de los datos reportados por los usuarios a través de sus aplicaciones.

Esto ha generado cierta desconfianza entre la población. Hasta no hace mucho, pocos eran los que se preocupaban por el uso que podían dar estas compañías a los datos recolectados y el uso, o mal uso, que daban y siguen dando algunas personas a las redes sociales, demuestra la escasa preocupación generalizada que había por la privacidad y el conocimiento que adquieren estas empresas sobre cada uno de sus usuarios.

Ahora parece que empieza a haber una tendencia en la otra dirección y la población en general cada día es más consciente y tiene una mayor preocupación sobre cómo se emplean los datos. La desconfianza y el desconocimiento pueden llevar a demonizar una tecnología que en si misma no es buena o mala, como prácticamente cualquier herramienta con potencial, depende del uso que se le dé y en que situaciones se emplee.

Uno de los objetivos de este trabajo, entre otros de igual importancia, consiste en demostrar que se pueden emplear estas mismas técnicas y tecnologías para mejorar la calidad de vida de las personas y que la tecnología, bien empleada, puede hacer mucho bien.

En este trabajo, se ha conseguido demostrar que es posible emplear los smartphones y las herramientas que ponen a nuestro alcance (ubicación, sensores integrados, conectividad permanente, etc.) para monitorizar a personas con problemas de dependencia o salud mental. Todo ello con el objetivo de acelerar su recuperación, haciendo más efectivo su tratamiento y reduciendo así el tiempo de mejora.



# 1. Introducción

## 1.1. Contexto científico

En el mundo actual prácticamente todas las disciplinas tienden poco a poco a la informatización y la digitalización. La disciplina de la psicología no es una excepción. En la literatura aparecen diversas aproximaciones que buscan introducir la informática en los tratamientos psicológicos [1][2].

Esta informatización está llegando poco a poco. Empezó con los sensores ECG, la realidad virtual y aumentada y actualmente están apareciendo trabajos que se centran en el empleo del *smartphone*, concretamente en el uso de aplicaciones móviles como herramienta de apoyo al tratamiento [3][4].

Las primeras aproximaciones se centraban simplemente en llevar los cuestionarios que se emplean para evaluar a los pacientes a un soporte digital: aplicaciones móviles que recogen las respuestas aportadas por los pacientes y las transmiten a los terapeutas [5][6][7]. De forma que no es necesario esperar a una sesión presencial para mantener al terapeuta informado y se le da más margen de maniobra para ajustar el tratamiento.

Estas soluciones son una buena primera aproximación, pero no explotan todo el potencial de los teléfonos móviles actuales. Los cuestionarios digitales, al igual que los cuestionarios en papel, pueden ser rellenados de manera imprecisa o el paciente puede simplemente mentir, voluntaria o involuntariamente [8].

Para evitar los problemas descritos, estas aplicaciones han evolucionado hacia aplicaciones que tratan de maquillar y hacer menos evidente esta recogida de información. Se pueden encontrar aplicaciones que recogen respuestas a preguntas sobre el estado de ánimo y emplean técnicas como la gamificación para hacer que su uso por los pacientes sea más atractivo y les invite a emplearlas [9]. Aunque este tipo de aplicaciones incrementa en cierta medida la cantidad de datos recibidos por los terapeutas de sus pacientes, siguen viéndose afectadas por los errores humanos o la falta de sinceridad.

Todo esto se ve afectado además por el hecho de que la mayoría de estas soluciones están programadas a medida. Es decir, que para dar soporte a nuevos tipos de tratamientos los terapeutas deben modificar las aplicaciones existentes y ampliarlas con nuevas funciones que lo permitan. En general, los profesionales de la psicología dependen de profesionales de la informática para introducir estas mejoras en las aplicaciones ya existentes o crear nuevas, ya que por norma general, carecen de conocimientos de programación.

Las aplicaciones que se han desarrollado hasta el momento pueden interpretarse desde dos perspectivas, por un lado, herramientas que permitan evaluar a un paciente en cualquier momento, sin necesidad de que paciente y terapeuta se encuentren en el mismo lugar, y por otro lado, herramientas que buscan poder intervenir, es decir, actuar, a través de algún tipo de mensaje, cuestionario, información o cualquier otro mecanismo similar

(también en cualquier momento) con el objetivo de ajustar el tratamiento que se le está aplicando. Las primeras están englobadas en lo que se conoce como ecological momentary assessment (EMA) [10] y las segundas están contenidas en las ecological momentary interventions (EMI) [11][12].

Una forma de avanzar en estas líneas es mediante el uso de los *smartphones* como herramienta de soporte a los tratamientos psicológicos. Los teléfonos actuales poseen una gran variedad de tecnologías embebidas (ubicación del usuario, conectividad permanente, notificaciones push), muchas de las cuales, tal y como se ha mencionado, no llegan a aprovecharse en su totalidad [13]. Emplear estas tecnologías puede resultar beneficioso a la hora de evaluar e intervenir a pacientes en tratamiento mediante aplicaciones móviles que exploten estas características poco empleadas hasta este momento.

Relacionado con esto último, los autores Melevyn W. B. Zhang y Roger C. M. Ho piden abiertamente en su artículo la creación de una herramienta que permita a los profesionales de la psicología crear aplicaciones con el propósito específico de dar soporte a los tratamientos de determinadas enfermedades y trastornos mentales [14]. Aplicaciones que pueden emplear las tecnologías mencionadas anteriormente.

Con el objetivo de responder a esta petición y explotar de mejor forma el potencial de los smartphones actuales se ha desarrollado un ecosistema de aplicaciones que permite, por un lado, poner al alcance de los terapeutas una herramienta de calidad y fácil de usar que les permita añadir aplicaciones hechas a medida a sus tratamientos empleando los últimos avances en técnicas de recolección, tratamiento, análisis y visualización de los datos capturados por los teléfonos inteligentes (ubicación, sensores, etc.) y, por otro lado, mejorar la calidad de vida de los pacientes enriqueciendo y ampliando el abanico de tratamientos que tienen a su disposición y reduciendo los tiempos de recuperación.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en desarrollar una plataforma que permita recolectar datos de comportamiento de pacientes en tratamiento psicológico, haciendo uso de sus teléfonos móviles, para poner más información al alcance de los terapeutas que los tratan y así mejorar el proceso de toma de decisiones durante el tratamiento. Todo ello con una meta clara en mente, ayudar a una mejor evaluación de los pacientes, facilitar su intervención durante el tratamiento y en definitiva, obtener mejores resultados del tratamiento aplicado.

Este objetivo, la creación de la plataforma, se divide en múltiples objetivos secundarios:

- **O1:** Crear una plataforma fácil de usar tanto por terapeutas como pacientes.
- **O2:** Crear una aplicación móvil para el paciente que permita su monitorización, evaluación e intervención.

- **O3:** Permitir al terapeuta configurar y personalizar la aplicación móvil del paciente, adaptando las evaluaciones e intervenciones a las necesidades del paciente.
- **O4:** Ofrecer herramientas de análisis y visualización que faciliten la evaluación del paciente.
- **O5:** Realizar un desarrollo modular que permita extender sus funcionalidades a medida que los experimentos realizados con ella generen nuevos casos de uso.

### 1.3. Enfoque

El enfoque seguido para realizar este trabajo ha sido el siguiente:

1. **Obtención de requisitos:** Proporcionados por un grupo de expertos en la materia (psicología).
2. **Diseño del sistema:** A partir de los requisitos obtenidos, se esboza un diseño capaz de satisfacerlos e ir más allá de lo que se había planteado, en busca de satisfacer requisitos también encontrados en la literatura.
3. **Desarrollo iterativo:** Siguiendo la metodología de desarrollo SCRUM<sup>1</sup>, con ciclos de desarrollo semanales, al final de los cuales se ha obtenido *feedback* para mejorar la herramienta.
4. **Evaluación del sistema:** Mediante pruebas sintéticas y pruebas con usuarios reales. Para las pruebas con usuarios se han empleado, entre otros, cuestionarios de evaluación de usabilidad empleando la herramienta System Usability Scale (SUS) [15].

### 1.4. Estructura

De aquí en adelante la memoria de este trabajo se estructura en las siguientes secciones:

- **Trabajo relacionado:** Se presenta el contexto del trabajo, incluyendo los conceptos y técnicas sobre los que se cimienta.
- **La plataforma Symptoms:** Se presenta la solución desarrollada, a alto nivel, junto a los requisitos que debe cumplir y ejemplos de caso de uso que ayudan a comprender el funcionamiento de la herramienta.
- **Arquitectura del sistema:** Presenta los diferentes elementos del sistema y cómo se relacionan entre si.

---

<sup>1</sup><https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>

- **Diseño e implementación:** Explica cómo se ha materializado la arquitectura planteada, mostrando: los artefactos software desarrollados, los servicios de terceros con los que interactúan y las técnicas y tecnologías empleadas.
- **Evaluación:** Presenta cómo se ha evaluado el sistema y los resultados obtenidos de dicha evaluación.
- **Conclusión:** Finaliza con una pequeña discusión sobre los resultados obtenidos y el trabajo futuro que queda por hacer.

## 2. Trabajo relacionado

### 2.1. *Ecological momentary assessment* y *Ecological momentary intervention*

Tradicionalmente la evaluación de los pacientes en tratamiento psicológico se ha venido haciendo mediante el empleo de cuestionarios de autoevaluación, que son cumplimentados por el paciente y entregados al terapeuta durante la próxima sesión en la consulta.

Este método, además de propenso a errores e imprecisiones, implica un paso de tiempo considerable entre la aparición de un suceso (algo que el paciente reseña en un cuestionario) y su notificación al terapeuta (una vez el cuestionario es entregado en consulta y el terapeuta lo lee).

Existe una línea de investigación abierta en el campo de la psicología denominada *ecological momentary assessment* (EMA), que trata de encontrar soluciones (de base tecnológica) que sean capaces de establecer un enlace en tiempo real entre paciente y terapeuta. De forma que este último sea notificado con el menor retraso posible sobre la ocurrencia de un evento de importancia para el tratamiento del paciente. Esta línea de investigación se centra únicamente en la comunicación de información por parte del paciente a su terapeuta, que a su vez forma parte del proceso de evaluación realizado durante un tratamiento psicológico.

Existen ejemplos de avances en esta línea de investigación en la literatura. La mayoría son aplicaciones que llevan los cuestionarios tradicionales a un formato de aplicación móvil [16][17][18]. Tan sólo ha sido posible encontrar un trabajo reciente en el que se han empleado datos de sensores en este tipo de aplicaciones (trabajo en el que se menciona también que el empleo de datos de ubicación podría ser de gran ayuda en los tratamientos) [19]. En general, los investigadores que se encuentran trabajando en esta línea coinciden en que tan sólo se ha comenzado a arañar la superficie en cuanto a explotar el potencial de la tecnología actual [20].

La línea que trabaja en los EMA tan sólo cubre la comunicación desde el paciente al terapeuta. Para que un tratamiento pueda considerarse completo debe ser posible también establecer por lo menos una vía de comunicación en el sentido contrario, de forma que el terapeuta pueda intervenir para ajustar el tratamiento del paciente. A esta fase del tratamiento se la denomina *intervención*.

La línea de investigación denominada *ecological momentary intervention* (EMI), también busca encontrar soluciones para reducir el tiempo que transcurre en la comunicación paciente-terapeuta, pero al contrario que EMA, lo hace en el sentido de comunicación del terapeuta al paciente.

Existen trabajos relacionados con las EMIs, pero al igual que ocurre con los trabajos en EMA, hasta donde se ha podido observar, se encuentran todos en una etapa muy temprana

de desarrollo y están lejos de explotar las capacidades computacionales, sensoriales y de interacción de los teléfonos actuales.

En la literatura existen ejemplos de soluciones que emplean los SMS para comunicarse con el paciente. También existen ejemplos de aplicaciones móviles que permiten interactuar con el paciente, pero estas están poco desarrolladas [18].

En general queda mucho trabajo por hacer en ambas líneas. Concretamente el empleo de *smartphones* y las tecnologías incluidas en ellos (sensores integrados, ubicación, notificaciones push, etc.), se encuentra actualmente poco explotado en este campo y se considera que podría resultar de utilidad emplear estas tecnologías para dar soporte a los tratamientos psicológicos.

## 2.2. Aplicaciones configurables

De un tiempo a esta parte, un gran porcentaje de las empresas que obtienen ingresos, directos o indirectos, a través de sus aplicaciones (web y móviles principalmente) emplean técnicas para evaluar el impacto que tienen ciertas funcionalidades o cambios realizados en ellas sobre los usuarios que las utilizan.

Esta técnica, conocida como prueba A/B<sup>2</sup>, emplea parámetros de configuración que modifican ciertos aspectos de la aplicación (por ejemplo, elementos visuales, habilitar funcionalidades, etc.) que se aplican únicamente sobre un número limitado de usuarios. El conjunto de usuarios que observa estos cambios, viene normalmente definido por un porcentaje (sobre el total de usuarios de la aplicación). Pruebas más avanzadas emplean otros atributos como: categorías (por ejemplo, un rol dentro de la aplicación o un grado de antigüedad empleándola) o características de la persona física que emplea la aplicación (edad, sexo, ubicación geográfica, etc.).

Para poder realizar este tipo de pruebas, durante la programación de estas aplicaciones se tiene en cuenta que ciertas funcionalidades o características, puede activarse o desactivarse mediante el empleo de ajustes de configuración obtenidos de forma remota y provistos por el propietario de la aplicación, ajustes que el usuario no puede modificar (salvo en determinadas circunstancias).

Un ejemplo reciente de este tipo de pruebas es la adopción paulatina de la nueva interfaz de usuario del gestor de correo web de la compañía Google: Gmail, la cual ha ido llegando poco a poco a sus usuarios.

La aplicación móvil desarrollada para este trabajo emplea un mecanismo similar para que el terapeuta pueda activar o desactivar ciertas funcionalidades de la misma en función de las necesidades del tratamiento aplicado al paciente que la utiliza.

---

<sup>2</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Test\\_A/B](https://es.wikipedia.org/wiki/Test_A/B)

### **2.3. Empleo de datos procedentes de sensores**

La presencia de sensores entre nosotros no es algo nuevo. Gracias a los sensores, hace años que podemos obtener información sobre las condiciones meteorológicas que se están dando en cualquier parte del globo, llegamos a la luna, ponemos satélites en órbita, detectamos problemas en las cadenas de montaje de las fábricas, conducimos nuestros vehículos de una forma más segura y un largo etcétera.

Los sensores, concretamente la información que podemos obtener a través de ellos, facilitan la vida a las personas, mejoran nuestros procesos de producción, nos aportan más capacidad de decisión y nos hacen sentir más seguros, entre otras cosas.

Con el auge del Internet de las cosas (IoT), la presencia de los sensores y los dispositivos conectados en nuestras vidas se ha hecho más patente. Electrodomésticos conectados, campos de cultivo controlados, son sólo algunos de los ejemplos de lo que el Internet de las cosas puede ofrecernos [21].

Muchas veces, algo que se pasa por alto es que la mayoría de la población lleva un dispositivo IoT consigo. Normalmente cuando se piensa en dispositivos IoT, se piensa en hardware dedicado con sensores y actuadores que convierten un objeto simple de nuestra vida cotidiana, como una nevera, en algo *smart*. Pero la definición de dispositivo IoT no sólo se limita a estos objetos, nuestros teléfonos, también son dispositivos IoT. Poseen actuadores (altavoces, pantalla, etc.), por normal general se encuentran conectados a Internet constantemente (wifi, redes móviles, etc.) y poseen múltiples sensores (acelerómetro, giroscopio, micrófono, GPS, etc.).

Es posible obtener, tratar y enviar los datos producidos por estos sensores integrados con el objetivo de extraer información útil sobre el comportamiento de la persona usuaria de un teléfono inteligente. Algo que ya está siendo explotado por algunas aplicaciones existentes en el mercado para obtener más información sobre los hábitos de sus usuarios.

Además de en un servidor remoto, también es posible tratar esos datos para extraer información relevante directamente en el propio terminal. Por ejemplo, Google pone a disposición de los desarrolladores de su plataforma Android, APIs que extraen información de los sensores integrados en el teléfono para reconocer lo que está haciendo en cada momento la persona que lleva el terminal consigo (de entre un catálogo de actividades), por ejemplo: estar en reposo, caminar o desplazarse en un vehículo (entre otros).

### **2.4. Empleo de datos de ubicación**

Los sistemas de información geográfica (SIG), nos permiten responder a preguntas como: ¿cuánta distancia se interpone entre el punto A y el punto B?, dado un punto, ¿se encuentra dentro de este edificio / ciudad / país?, etc.

Cuando se toma una medición de temperatura en un lugar, obtenemos la representación numérica de una magnitud física, lo que responde a la pregunta: ¿qué temperatura hace?. Cuando a esta medición se añade el tiempo en el que ha sido tomada, se añade una dimensión temporal a la medición, lo que responde a la pregunta: ¿qué temperatura hacía en un instante dado?. Si además a esto le añadimos unas coordenadas X,Y indicando dónde fue tomada la medición, se responde a la pregunta: ¿qué temperatura hacía en X,Y en un instante dado?

La información espacial, junto a la información temporal, nos permite detectar patrones en el espacio y en el tiempo. Esto nos permite revivir sucesos que se producen en el mundo real, que pueden ser ubicados tanto en un lugar, como en un momento dado.

Todos los *smartphones* actuales poseen una unidad GPS (Global Navigation Satellite System - GNSS<sup>3</sup> para ser exactos), que permite obtener la ubicación del terminal. Además todos poseen un reloj, lo cual nos permite conocer el instante en el que se captura una ubicación.

A partir de estos datos es posible realizar un seguimiento en segundo plano de la ubicación del usuario del teléfono a lo largo del tiempo. Estos datos nos permiten posteriormente reconstruir la ruta seguida por el usuario mientras llevaba el terminal consigo.

---

<sup>3</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_global\\_de\\_navegación\\_por\\_satélite](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_de_navegación_por_satélite)



## 3. La plataforma Symptoms

### 3.1. Requisitos

El campo de la psicología es muy amplio y los diferentes tipos de trastornos que sufren las personas también es muy elevado. Como profesionales de la informática, somos capaces de esbozar, diseñar, implementar y probar sistemas. Pero cuando se trata de un dominio ajeno al nuestro y tan diverso como lo es la psicología, se requiere de participación externa que nos ayude a comprender el problema y las necesidades que se deben cubrir, para así poder poner en práctica nuestros conocimientos.

Es por ello que este proyecto se ha abordado desde una perspectiva multidisciplinar. El grupo de investigación GEOTEC<sup>4</sup> de la Universitat Jaume I donde se ha desarrollado este proyecto, tiene una estrecha colaboración con LabPsiTec<sup>5</sup>, un grupo de investigación de psicología de esta misma universidad. Los integrantes de LabPsiTec han supuesto una ayuda inestimable a la hora de comprender el dominio y elaborar un listado de requisitos a incluir en la versión inicial de la plataforma y permitir así demostrar su utilidad. La información sobre el dominio se obtuvo a partir de una serie de entrevistas con el grupo, en las cuales también se dio *feedback* sobre prototipos iniciales. Toda esta información se ofreció como punto de partida para poder comenzar a realizar el trabajo.

A partir de las ideas planteadas por el grupo de psicología ha sido posible extraer un listado de requisitos que debía cumplir la plataforma desarrollada para este trabajo. Estos requisitos se presentan a continuación:

#### ■ Requisitos funcionales:

- **RF1:** Permitir dar de alta pacientes.
- **RF2:** Permitir a los pacientes enviar datos de ubicación recogidos por su teléfono móvil.
- **RF3:** Permitir explorar las posibilidades que ofrece la herramienta, en cuanto a visualización de analíticas de pacientes.
- **RF4:** Permitir configurar e instanciar aplicaciones para pacientes, definiendo su configuración a partir de analíticas útiles para su tratamiento.
- **RF5:** Permitir definir una configuración de una aplicación a partir de los ejemplos de configuración propuestos por la propia plataforma, cada uno de los cuales estará relacionado con un trastorno o enfermedad mental.
- **RF6:** Visualizar analíticas personalizadas, acordes a una configuración específica, de cada paciente a partir de los datos enviados empleando la aplicación.
- **RF7:** Permitir enlazar una aplicación a más de un paciente para compartir su configuración, es decir las configuraciones serán independientes de los pacientes.

---

<sup>4</sup><http://geotec.uji.es/>

<sup>5</sup><http://www.labpsitec.uji.es/>

- **RF8:** Permitir definir visualizaciones personalizadas de los análisis provistos por la plataforma a partir de los ejemplos de configuración propuestos.
- **RF9:** Permitir evaluar el comportamiento de un paciente en cualquier momento a través de analíticas definidas en la configuración de aplicación enlazada a la aplicación del paciente.
- **RF10:** Permitir especificar el intervalo de tiempo en el que se desean visualizar los datos así como la posibilidad de visualizar analíticas para tres periodos de tiempo distintos: de 0:00 a 8:00, de 8:00 a 16:00 y de 16:00 a 24:00, así como el día completo.

■ **Requisitos no funcionales:**

- **RNF1:** Para poder explorar las funcionalidades de la herramienta no debe ser necesario disponer de datos reales de pacientes.
- **RNF2:** Los datos aportados durante el alta de un paciente deben ser datos que no permitan su identificación como persona física.
- **RNF3:** El proceso de configuración de cada aplicación (activación de sensores, petición de permisos, etc.) debe ser completamente transparente para ambos: terapeuta y paciente, dado que se parte de la premisa de que ninguno de los dos colectivos posee conocimientos en la materia.
- **RNF4:** Al tratar con datos médicos de pacientes, todas las comunicaciones entre los diferentes componentes de la plataforma deberán ser seguras.
- **RNF5:** El sistema debe ser fácil de usar tanto por pacientes como por terapeutas.

Tomando estos requisitos como base, se añadieron al listado requisitos específicos, para poder probar la plataforma. Se acordó ofrecer dos configuraciones iniciales para dos trastornos bien diferentes: depresión y adicción al juego. Para ayudar en el tratamiento de los pacientes, se acordó incluir las siguientes analíticas al catálogo global de analíticas ofrecidas por la plataforma:

■ Para poder tratar mejor la depresión:

- **RF8.1:** Permitir la visualización del lugar de residencia del paciente y el recorrido seguido por el mismo día a día.
- **RF8.2:** Permitir la visualización del tiempo que pasa el paciente dentro y fuera de su residencia habitual.
- **RF8.3:** Permitir la visualización de las veces que el paciente abandona su residencia habitual.

■ Para poder tratar mejor un problema de adicción al juego:

- **RF8.4:** Permitir visualizar el recorrido seguido por el paciente día a día.
- **RF8.5:** Permitir especificar lugares que el paciente debería evitar, así como poder incluir un mensaje a mostrar en el caso de que los visite, el cual deberá ser notificado al paciente en el momento que entre en la zona de peligro.

Por ahora, la plataforma tan sólo da soporte a los dos tipos de tratamientos indicados, con las analíticas descritas hasta el momento. En un futuro, está previsto que la plataforma dé soporte a otros tipos de tratamientos. Es por ello que esta versión de la herramienta debe permitir ampliar fácilmente el catálogo de tratamientos soportados así como nuevas analíticas que trabajen sobre los datos disponibles o los resultados de otras analíticas ya presentes. También debe permitir crear nuevas configuraciones a partir de los nuevos tratamientos y análisis soportados, conforme estos se hagan disponibles. Esto no es un requisito impuesto por el grupo de terapeutas, de ahí que no aparezca en el listado, si no una decisión tomada por nosotros de cara a asegurar la extensibilidad de la herramienta en un futuro.

### 3.2. Visión general del sistema

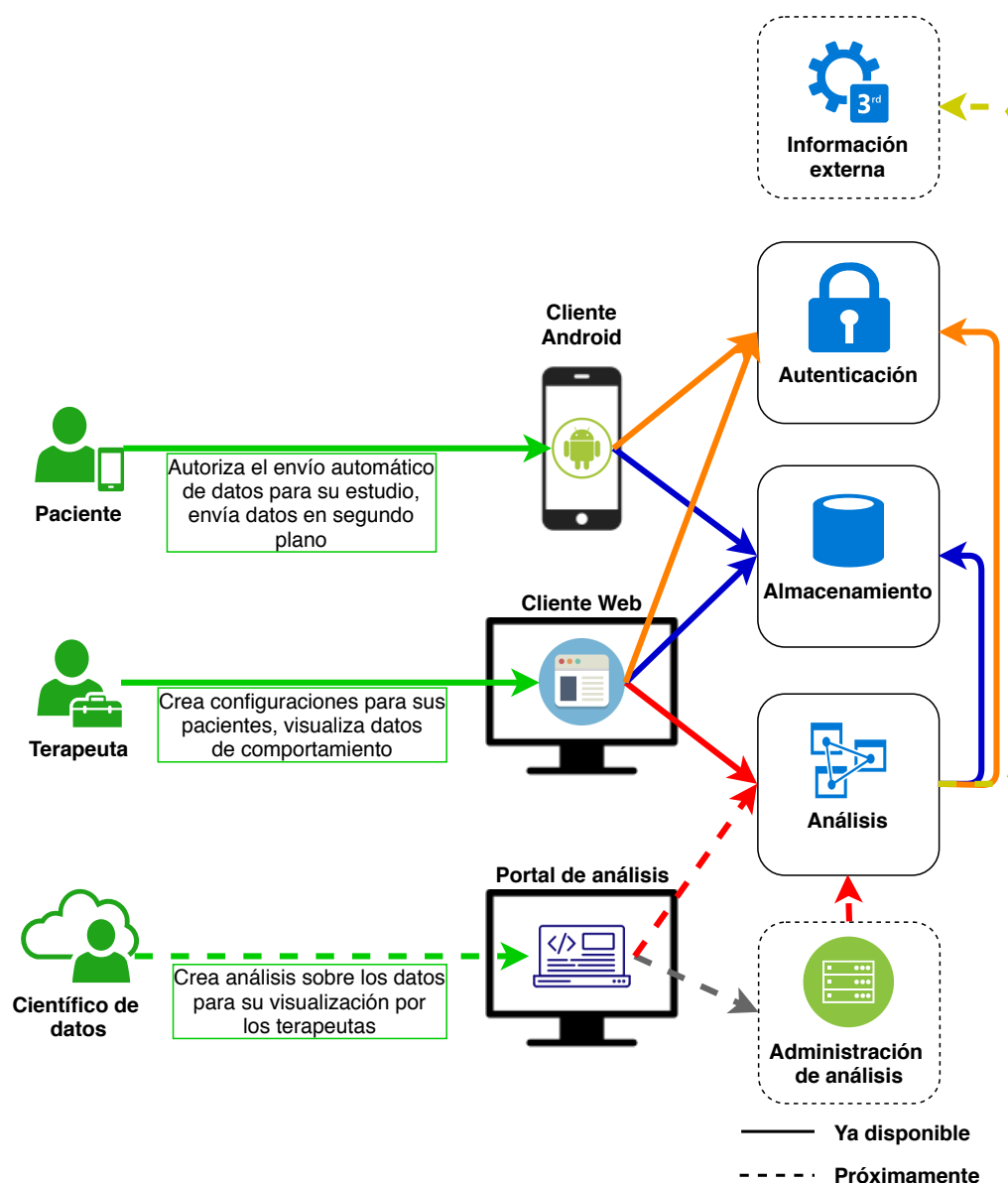


Figura 1: Visión general de la plataforma desarrollada, incluyendo futuras extensiones.

Una vez presentados los requisitos a cumplir por el sistema desarrollado para cubrir las necesidades de soporte al tratamiento de los terapeutas, se procede con la presentación del mismo. En la Figura 1 puede observarse un diagrama donde se encuentran todos los componentes de alto nivel, actuales y futuros, de la plataforma desarrollada y las relaciones que existen entre ellos.

Actualmente la plataforma está formada por:

- **Una aplicación móvil:** Disponible para la plataforma Android (en un futuro también en iOS). Aunque el artículo de Zhang y Ho [14], pedía abiertamente un constructor

de aplicaciones, se estudió esta posibilidad y se llegó a la conclusión de que se podía conseguir el mismo resultado creando una aplicación modular configurable dinámicamente en función de las necesidades de un paciente. Esta decisión simplifica en gran medida el mantenimiento y desarrollo de la plataforma.

- **Un cliente web:** Al cual únicamente tienen acceso los terapeutas. Desde esta aplicación, los terapeutas pueden dar de alta pacientes, crear configuraciones para la aplicación móvil (empleando un asistente) y examinar la evolución de los pacientes durante el tratamiento mediante la visualización de analíticas obtenidas a partir de los datos que estos envían a la plataforma a través de la aplicación móvil.
- **Servicios de autenticación:** Controlan el acceso a los diferentes servicios y aplicaciones de la plataforma, en función del rol del usuario.
- **Servicios de almacenamiento:** Guardan toda la información relacionada con los terapeutas, sus pacientes, las configuraciones de la aplicación móvil creadas así como los datos enviados por los pacientes a lo largo del tratamiento.
- **Servicios de análisis:** Acceden a las diferentes fuentes de datos disponibles en la plataforma con el objetivo de extraer información que puede resultar de utilidad para los terapeutas de cara a mejorar los tratamientos que ofrecen a sus pacientes.

En un futuro la plataforma también dispondrá de:

- **Un portal de análisis:** Permitirá a científicos de datos ajenos al proyecto contribuir con análisis de utilidad para ser aplicados en tratamientos psicológicos y, tras un proceso de evaluación, se harán disponibles en el cliente web para que formen parte de configuraciones de la aplicación móvil.
- **Administrador de análisis:** Sistema que controlará la subida de análisis nuevos a la plataforma, permitirá una evaluación tanto manual como automática de los mismos y su despliegue si todo está en orden.
- **Servicios de terceros:** Un catálogo de servicios externos que permitirá enriquecer los análisis realizados con información externa adicional. Un ejemplo de servicio que estará disponible será un servicio de geocodificación, que permitirá obtener, entre otras cosas, el nombre de un lugar dadas sus coordenadas.

Todas estas aplicaciones y sus características, puestas en conjunto, permiten que la plataforma sea extensible, reutilizable y, en general, preparada para el futuro al no cerrar la puerta a la posibilidad de poder añadir nuevos análisis y permitir dar soporte a nuevos tratamientos.

### 3.3. Casos de uso

A un nivel de abstracción tan alto, puede resultar complejo comprender en profundidad cómo interactúan los diferentes componentes de la plataforma entre sí, más aún si no se ha trabajado con ella. Para facilitar la comprensión se van a presentar una serie de casos de uso típicos que representan las funcionalidades más relevantes que ofrece la plataforma y las herramientas que la componen.

Para este trabajo se ha decidido explicar las funcionalidades más relevantes directamente sobre el producto final desarrollado en lugar de emplear diagramas para tal efecto, todo ello en aras de la claridad y comprensión.

#### 3.3.1. Terapeuta inscribiendo a un paciente

Cualquier terapeuta puede registrarse cuando lo desee empleando el formulario de registro de la aplicación web. Una vez se ha registrado y ha accedido a la aplicación, se le presenta una pantalla como la que aparece en la Figura 2.

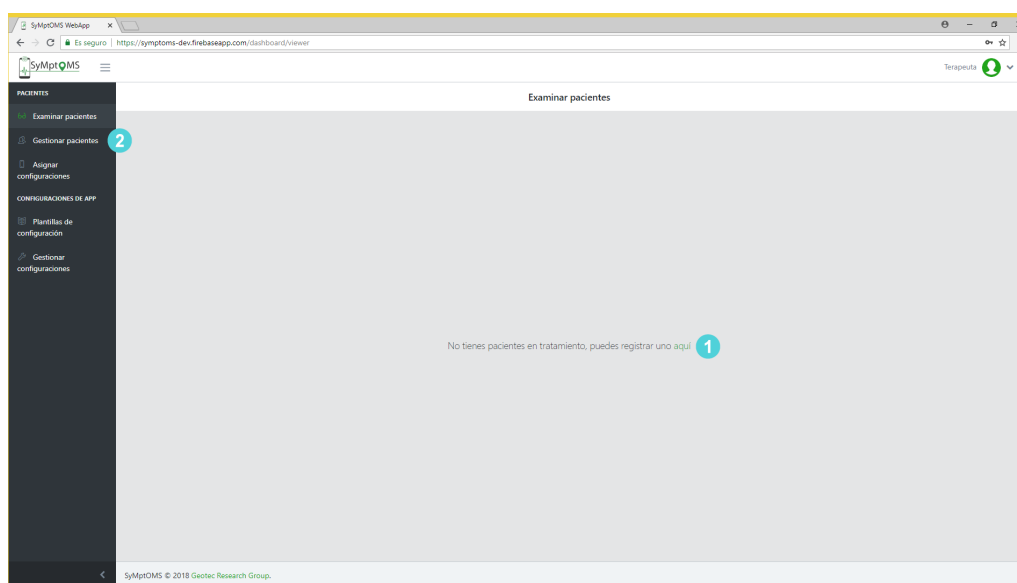


Figura 2: La primera pantalla que ve un terapeuta tras iniciar sesión en la aplicación web.

Una vez en esta pantalla, el terapeuta puede emplear el enlace que aparece en el centro de la pantalla (1) o la entrada del menú lateral que lleva a la gestión de pacientes (2) para dar de alta su primer paciente.

## Explorando el formulario de registro

En la Figura 3, se muestra la pantalla de gestión de pacientes con el formulario de registro de un nuevo paciente ya abierto tras hacer clic en el botón dispuesto para tal fin **(1)**.

Figura 3: Formulario que permite dar de alta a un paciente nuevo.

En este formulario, el terapeuta está obligado a introducir un número de expediente **(2)** y decidir si desea crear una nueva configuración de aplicación para este paciente o vincularlo a una existente, si la hubiese **(5)**. En el caso de escoger la primera opción, el terapeuta puede elegir basarse en una de las plantillas provistas por el sistema **(6)** (actualmente una para tratar la depresión y otra para la adicción al juego). El terapeuta puede explorar estas plantillas antes de seguir con el proceso haciendo clic en un enlace dispuesto a modo de ayuda **(7)** o a través de la sección “Plantillas de configuración” **(8)** del menú lateral. De manera opcional, el terapeuta también puede especificar un alias **(3)** que le permita identificar más fácilmente a un paciente y/o incluir algún comentario libre **(4)**. Para continuar con el proceso tan sólo debe pulsar el botón de confirmación **(9)** o cancelar el proceso en el caso de que desee continuar con él más tarde.

## Revisando las plantillas de configuración disponibles

En el caso de que decida explorar las plantillas incluidas en el sistema, el terapeuta visualizará una pantalla como la que se presenta en la Figura 4. En esta pantalla aparece un listado que muestra las plantillas disponibles, cada una representada por una tarjeta.

Al hacer clic en una de ellas, aparece una pantalla como la que se muestra en la Figura 5. La plantilla mostrada, corresponde con la plantilla de configuración creada expresamente para la depresión. Esta plantilla contiene un mapa con el lugar de residencia y la

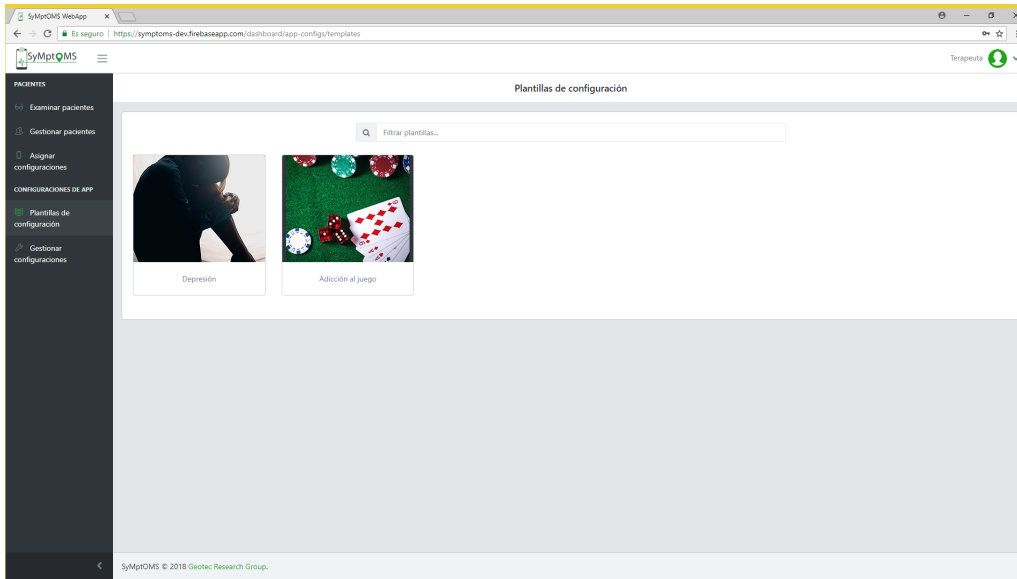


Figura 4: Listado de plantillas de configuración incluidas en el sistema.

ruta seguida día a día por el paciente **(1)**, ambos elementos son capas totalmente independientes que pueden mostrarse u ocultarse a voluntad mediante los botones ubicados en la esquina superior derecha del mapa **(2)**. Debajo del mapa, al que se le ha dado más importancia en esta configuración, se encuentran dos gráficos más pequeños. El primero representa un análisis del tiempo que ha pasado el paciente dentro y fuera de casa por cada día de tratamiento **(3)** y el segundo las veces que ha salido de la misma **(4)** también por cada día de tratamiento. Todos los datos mostrados en los gráficos, son datos de ejemplo, que serán reemplazados por datos reales una vez se enlace una configuración derivada de esta plantilla a la aplicación presente en el teléfono del paciente.

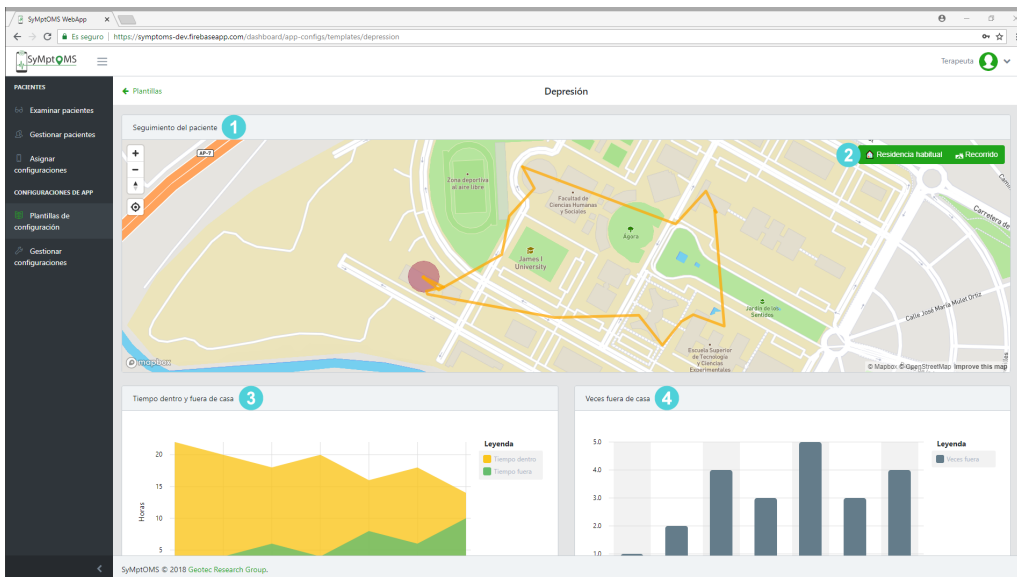


Figura 5: Plantilla de configuración para tratar la depresión, con gráficos de ejemplo de los diferentes análisis incluidos.



## Creando una configuración personalizada para un paciente

Cuando el terapeuta termina de explorar la o las plantillas que eran de su interés, puede regresar al formulario de registro de paciente y cumplimentar su contenido de la forma que considere más oportuna. Para este ejemplo, el formulario se ha cumplimentado tal y como aparece en la Figura 6.

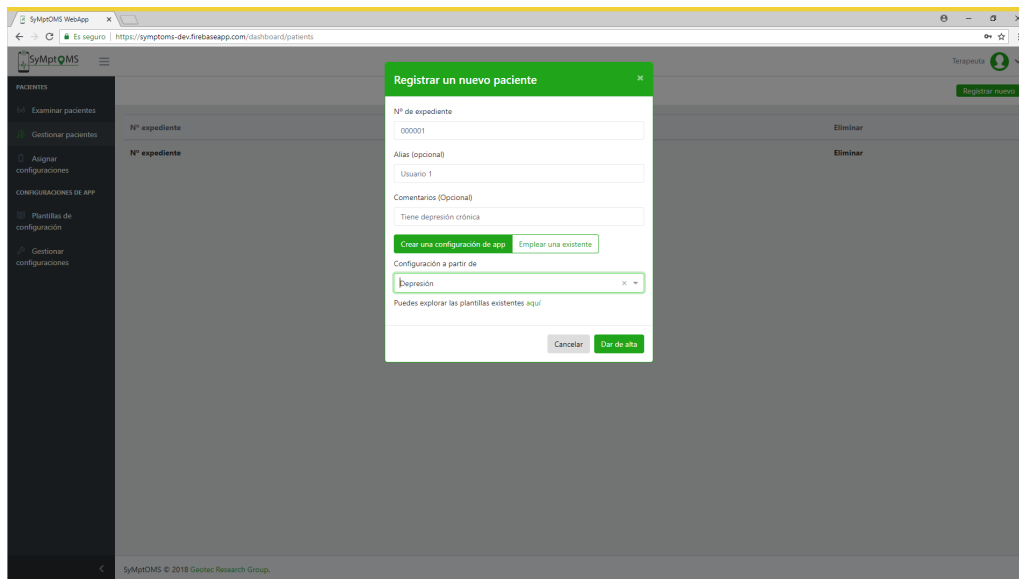


Figura 6: Formulario de registro de paciente totalmente cumplimentado.

En este caso se simula que el terapeuta se decanta por crear una configuración a partir de la plantilla especializada en el tratamiento de la depresión. Cuando se da esta condición y se hace clic en en el botón de confirmación del formulario, aparece una nueva pantalla como la que se muestra en la Figura 7.

Esta pantalla representa el asistente de configuración, al cual se puede acceder al crear un nuevo paciente con una nueva configuración asignada a este o a través de la sección de gestión de configuraciones del panel lateral **(8)**.

El asistente de configuración puede iniciar una configuración a partir de una plantilla (como en el caso de ejemplo) o partir de cero. Cuando el terapeuta entra en el asistente de configuración, tiene la opción de dar marcha atrás **(1)**, acceder a la ayuda en pantalla **(2)**, que le explicará las posibilidades del asistente y cómo emplearlo, añadir más gráficos y mapas a partir del catálogo de análisis disponibles **(3)** o crear la configuración en el estado en el que esté en ese momento **(4)**. Además cada *widget* (mapa o gráfico), puede ser reubicado dentro del panel **(5)**, editado **(6)** o borrado, en el caso de que no sea de interés para el tratamiento **(7)**.

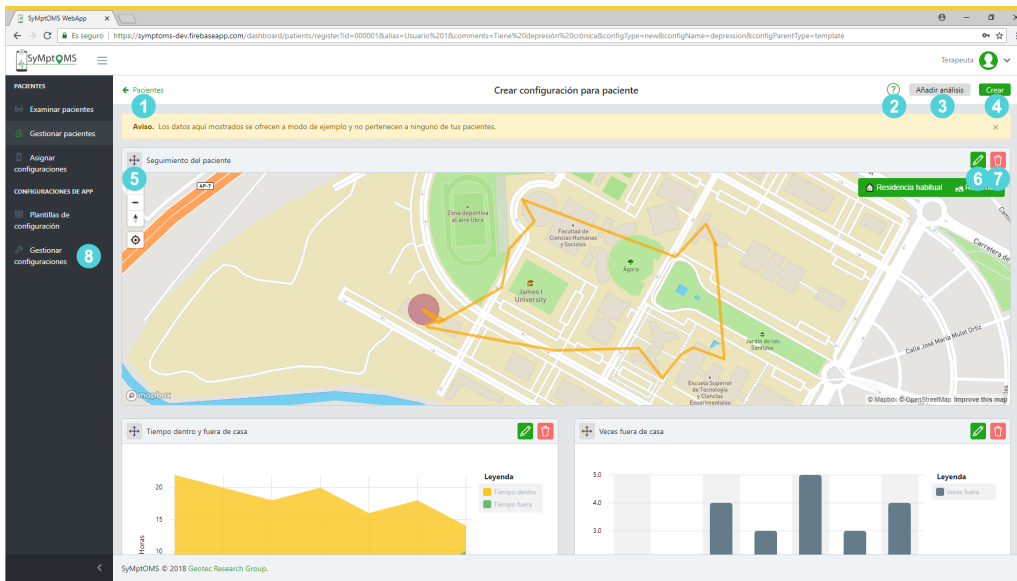


Figura 7: Asistente para la creación de una configuración de aplicación para un paciente.

### Editar un *widget* de tipo mapa

En cuanto a la funcionalidad de edición, la herramienta muestra opciones diferentes en función del *widget* que se está editando. Puede ser un mapa o una gráfica. En el caso del mapa las opciones de configuración son las que aparecen en las Figuras 8 y 9.

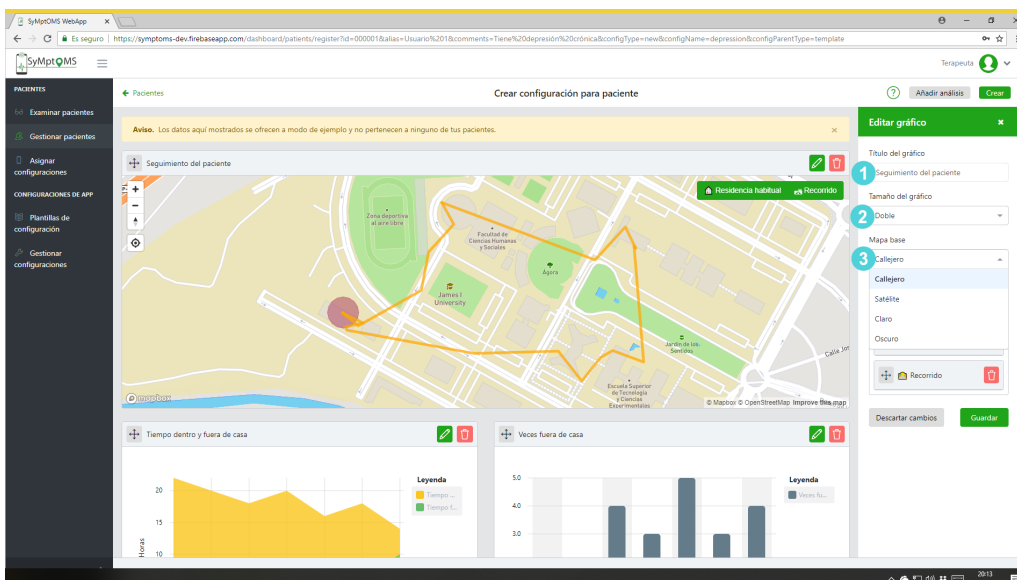


Figura 8: Edición de un *widget* de tipo mapa con el selector de mapa base desplegado.

En la Figura 8, se muestran la mayoría de las opciones de edición disponibles a la hora de editar un *widget* de tipo mapa. En ambos tipos de *widgets* (mapa y gráfica), es posible cambiar el nombre que aparece en la cabecera (1) y su tamaño, que puede ser simple (como el de los gráficos de la segunda fila) o doble (como el mapa) (2). En el caso concreto

del mapa, también es posible cambiar el mapa base (3).

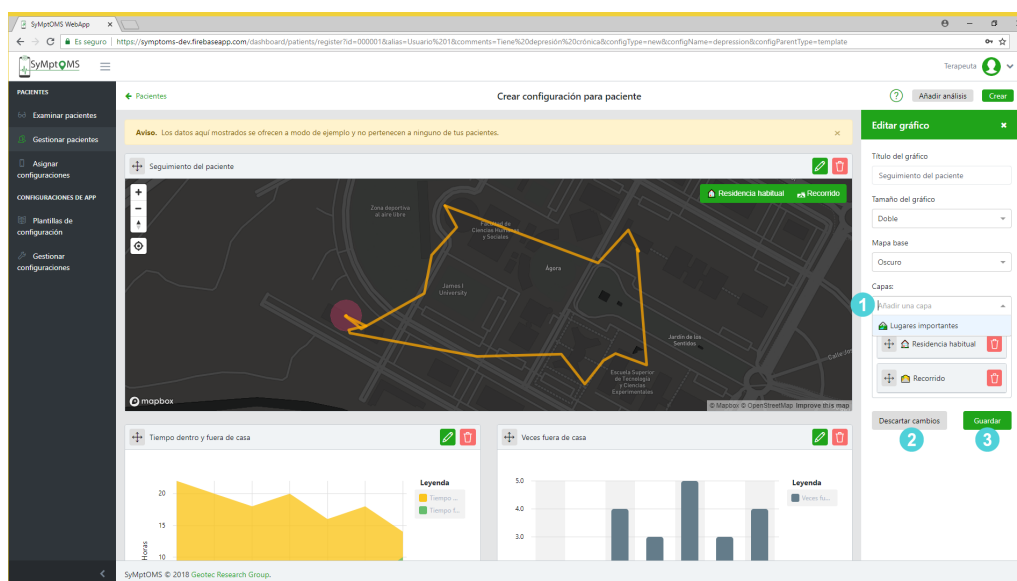


Figura 9: Edición de un *widget* de tipo mapa con el selector de capa adicional desplegado.

En la Figura 9, se muestra el mapa ya editado, con el mapa base cambiado. También aparece desplegado un selector que permite añadir una capa nueva (1). Este selector carga sus entradas a partir del catálogo dinámico de analíticas de la plataforma, compuesto por las analíticas que ofrecen los servicios de análisis. En él tan solo aparecen las analíticas que producen información de salida de tipo espacial. Las capas añadidas (y las que ya posee el mapa por defecto) aparecen en un listado justo debajo del selector. Las capas se pueden reordenar y borrar. Si tras todos estos cambios el terapeuta no queda satisfecho con el resultado, puede simplemente descartar los cambios (2) y el mapa volverá a la normalidad (esto también se cumple para los *widgets* de gráficas). Si por el contrario, el resultado es el deseado, pueden guardarse los cambios (3) y continuar editando la configuración de otro *widget* o crear la configuración a partir de su nuevo estado.

La Figura 10, presenta el *widget* del mapa con todos los cambios de edición aplicados, justo antes de guardar los cambios. Como podrá observarse, se ha añadido una nueva capa, Lugares importantes. Esta capa tiene la peculiaridad de que requiere de información adicional que ha de ser proporcionada por el terapeuta en un paso de configuración posterior que se mostrará más adelante.

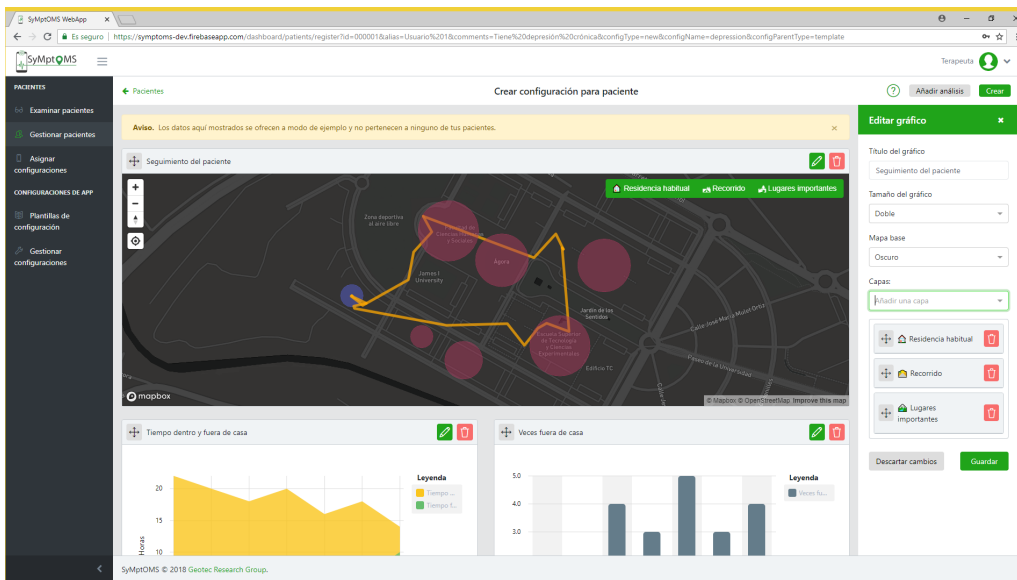


Figura 10: Estado de un *widget* de tipo mapa tras aplicar varios cambios durante su edición.

## Editando un *widget* de tipo gráfica

Una vez presentadas las capacidades de edición del asistente de configuración en cuanto a modificación de *widgets* de tipo mapa se refiere, queda por mostrar las capacidades de edición de la herramienta a la hora de editar gráficas.

La Figura 11, muestra el editor desplegado con todas las opciones de configuración disponibles a la hora de editar una gráfica. Algunas de ellas como el título y el tamaño, son comunes a ambos tipos de *widgets*.

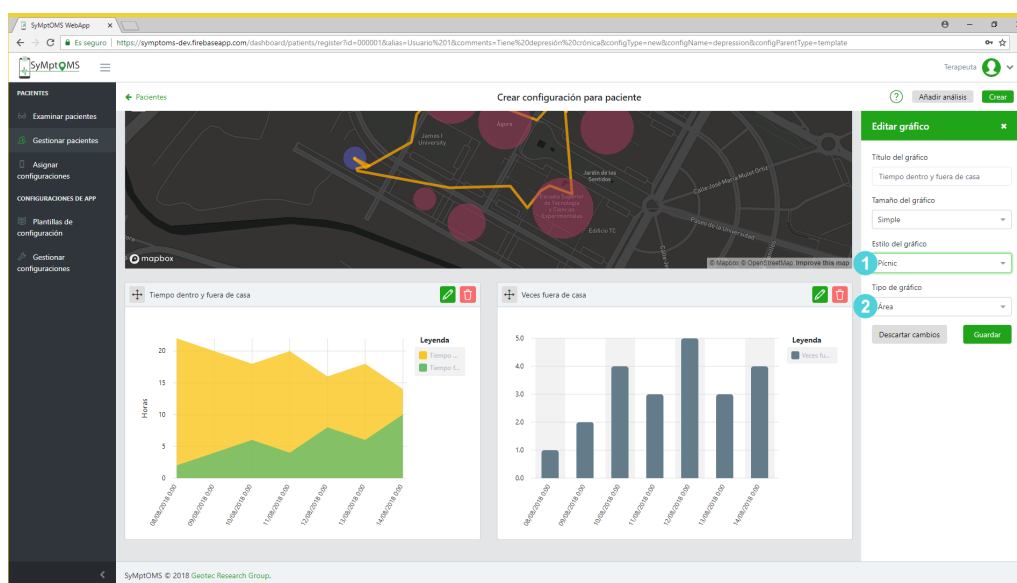


Figura 11: Edición de un *widget* de tipo gráfica.

En este caso, la opción de modificación de mapa base ha sido reemplazada por un selector de estilo, que permite elegir el esquema de color de la gráfica **(1)** de entre una serie de esquemas disponibles. Por el momento, no es posible añadir más de una fuente de datos a una gráfica ya que esto complicaría el proceso de edición. Independientemente de esto, más adelante no se descarta la posibilidad de generar gráficas combinadas. Lo que sí es posible modificar es el tipo de gráfico en función del formato de la información de salida producida por análisis que se está editando **(2)**.

Los terapeutas puede elegir de entre una gran variedad de gráficos disponibles para mostrar de una forma adecuada los resultados de los análisis efectuados. En la Figura 12, aparecen listados en el control desplegable solo algunos de ellos. La Tabla 1, contiene el listado completo de los tipos de gráficas disponibles en la herramienta, agrupadas por la categoría del formato de los datos que admiten como entrada. Los títulos de los subtipos de los gráficos son idénticos a los de sus homólogos presentes en herramientas como Microsoft Excel<sup>TM</sup>.

Para terminar, antes de proceder con la explicación del siguiente y último paso del asistente de configuración, se va a explicar brevemente el funcionamiento del catálogo

general de análisis disponibles.

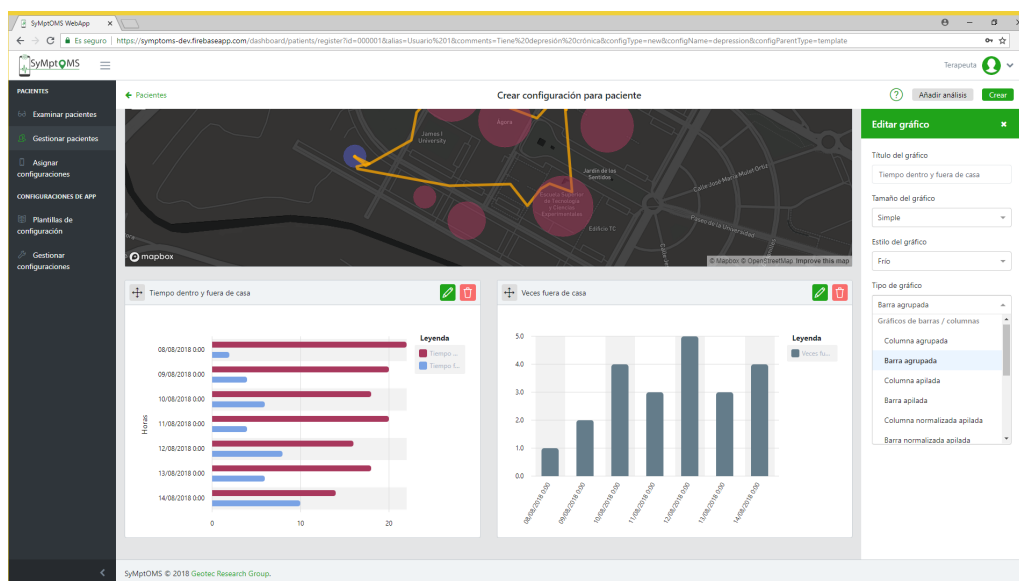


Figura 12: Algunos de los tipos de gráficas disponibles durante la edición de una gráfica cuyo contenido es una serie de datos temporal.

Tabla 1: Tipos y subtipos de gráficos disponibles en función del formato de la fuente de datos.

<b>Formato de los datos</b>	<b>Tipo de gráfico</b>	<b>Subtipo de gráfico</b>
<b>Series de datos temporales</b>	<b>Gráficos de barras / columnas</b>	Columna agrupada
		Barra agrupada
		Columna apilada
		Barra apilada
		Columna normalizada (100%) apilada
		Barra normalizada (100%) apilada
	<b>Gráficos de línea</b>	Línea
	<b>Gráficos de área</b>	Radial
		Área
		Área apilada
<b>Datos de tipo resumen (sin dimensión temporal)</b>	<b>Gráficos de barras / columnas</b>	Columna
		Barra
	<b>Gráficos circulares</b>	Circular
		Anillo
		Circular avanzado (con texto resumen)
		Circular en cuadrícula (un círculo por categoría)

## Añadiendo análisis adicionales a la configuración

Hasta el momento se ha descrito cómo modificar una configuración a partir de los elementos que ya vienen incluidos en la plantilla de origen. La herramienta también permite la posibilidad de comenzar una configuración desde cero o extender una plantilla existente añadiendo nuevos análisis no incluidos en la configuración original.

Este es de hecho uno de los puntos fuertes de la herramienta. Permitir a los terapeutas ir más allá de la visión que nosotros como desarrolladores hemos planteado como punto de partida a partir de los requisitos especificados por ellos con anterioridad y ofrecerles la posibilidad de mejorar las configuraciones creadas específicamente para determinados tipos de trastornos con nuevos análisis que les permitan aplicar tratamientos de una manera más efectiva.

En este sentido, el asistente ofrece a los terapeutas la posibilidad de añadir nuevos análisis a la configuración a partir de aquellos disponibles en un catálogo que se actualiza automáticamente cada vez que una analítica nueva está disponible. En la Figura 13, puede observarse parte de este catálogo. La Tabla 2, contiene el listado completo de analíticas disponibles actualmente en la plataforma.

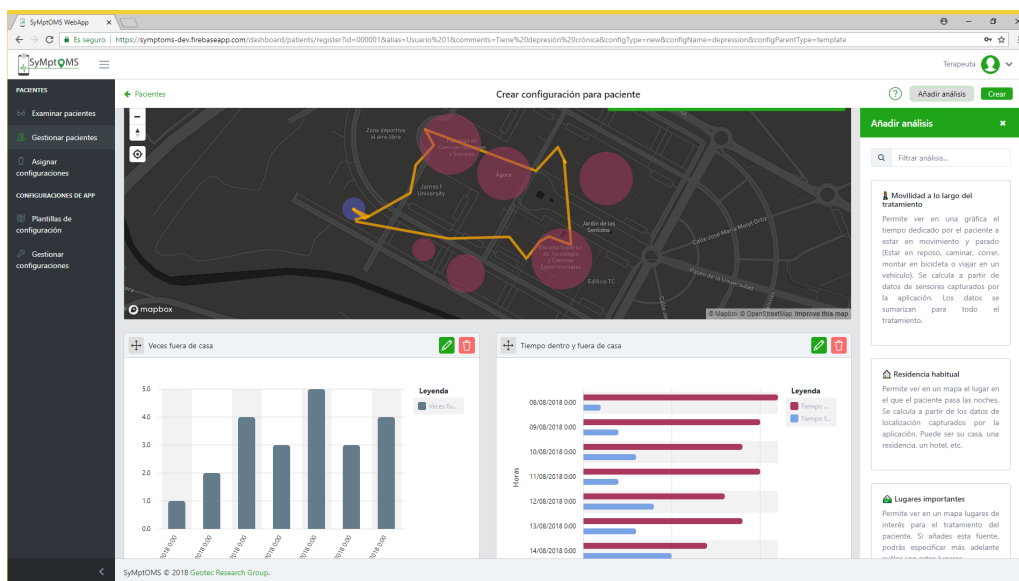


Figura 13: Asistente de configuración mostrando el catálogo de analíticas disponibles.

Tabla 2: Analíticas disponibles actualmente en la plataforma y que pueden ser añadidos a cualquier configuración.

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de resultado producido</b>	<b>Descripción</b>
<b>Residencia habitual</b>	Espacial	Cálculo automático del lugar de residencia del paciente extraído a partir de los datos de ubicación enviados
<b>Recorrido</b>		Trayectoria seguida por el paciente extraída a partir de los datos de ubicación enviados
<b>Lugares importantes</b>		Lugares importantes para el tratamiento, especificados por el terapeuta
<b>Tiempo dentro y fuera de la residencia habitual</b>	Serie de datos temporal	Calculado a partir del análisis de residencia habitual y los datos de ubicación enviados
<b>Veces fuera de la residencia habitual</b>		
<b>Movilidad a lo largo del tratamiento</b>	Resumen sin dimensión temporal	Tiempo que el paciente ha estado en reposo, caminando, corriendo, en bicicleta y dentro de un vehículo durante todo el tratamiento



Con el objeto de mostrar esta funcionalidad, en la Figura 14, puede observarse el resultado de añadir un análisis adicional a la configuración que se ha ido creando a modo de ejemplo hasta el momento.

Es importante destacar que entre los detalles que la aplicación recupera del catálogo de analíticas disponibles se encuentra la información necesaria para mostrar un gráfico por defecto para el resultado de ese análisis. Si es un análisis espacial, al añadirlo, aparece un nuevo *widget* con un mapa. Si es un análisis no espacial, aparece un *widget* con una gráfica, configurado con un tipo de gráfica por defecto acorde al formato de los datos que produce el análisis como resultado (véase la Tabla 1).

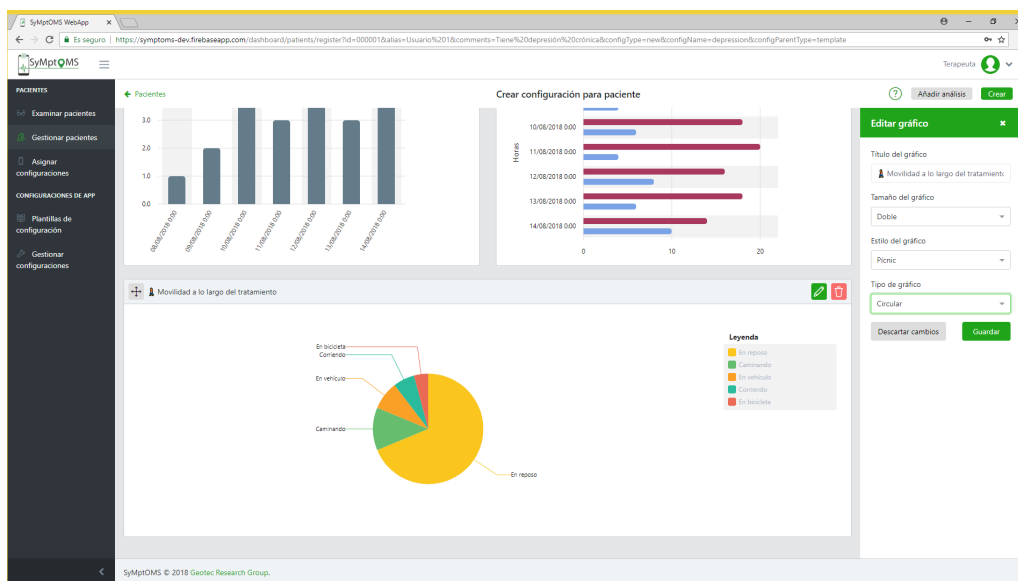


Figura 14: Resultado de añadir un análisis adicional en el asistente de configuración.

### Añadiendo información adicional a la configuración

Por último, en el caso de añadir uno o más análisis que requieran de información adicional que debe ser suministrada por el terapeuta (como es el caso de la analítica de lugares importantes), al pulsar el botón “Crear” ((4) Figura 7), el asistente lleva al terapeuta a un paso adicional a través del cual podrá especificar esta información (Véase las Figuras 15 y 16). Esta información se empleará más adelante en análisis más complejos que dependerán de los datos aportados tanto por pacientes como por terapeutas, combinándola, con el objetivo de obtener información más valiosa.

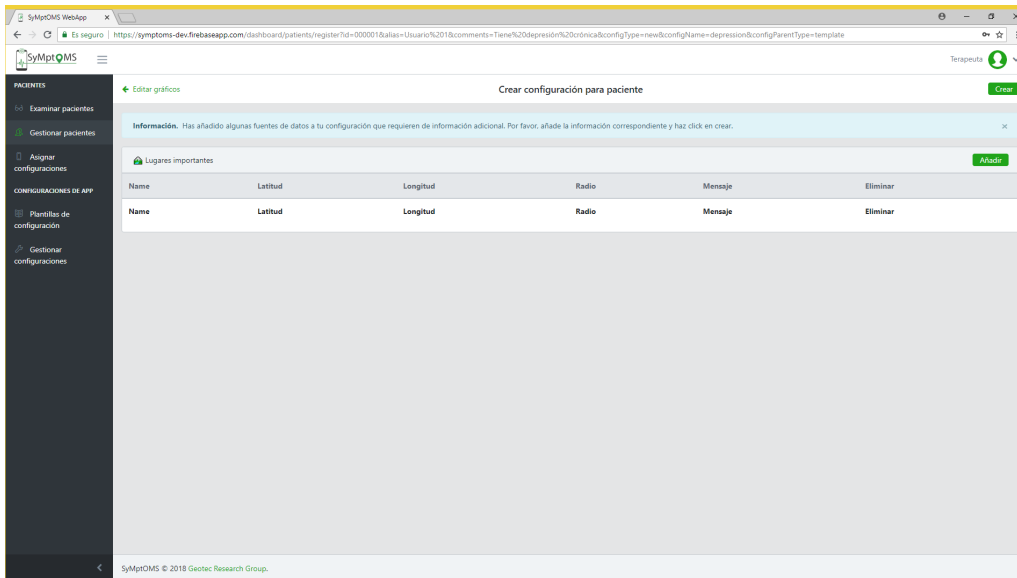


Figura 15: Paso opcional del asistente de configuración que permite añadir información adicional con el objetivo de ofrecer una mejor ayuda al tratamiento.

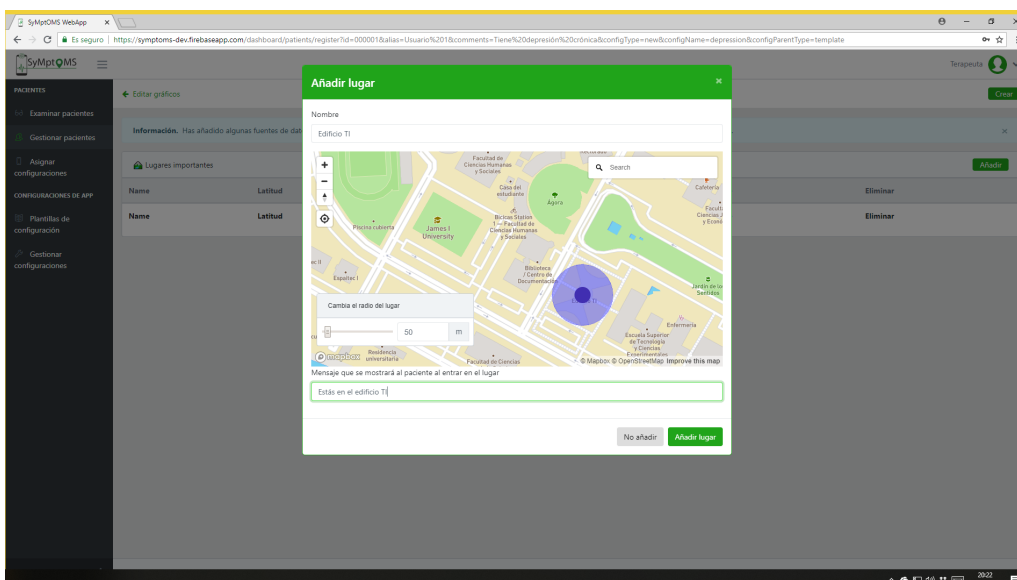


Figura 16: Lugares importantes, un ejemplo de información adicional que pueden incluir los terapeutas con el objetivo de facilitar el tratamiento.

## Finalizando el proceso de registro

Una vez introducida toda esta información, el asistente registra al paciente, da de alta una configuración nueva a partir de toda la información introducida y la vincula al paciente registrado. Al vincular una configuración, los servicios de la plataforma generan una clave única de acceso que debe ser introducida por el paciente en su teléfono para poder comenzar a reportar datos. Todo este proceso completo puede llegar a tardar varios segundos, por lo que mientras se está realizando se muestra una pantalla de espera como la que aparece en la Figura 17.

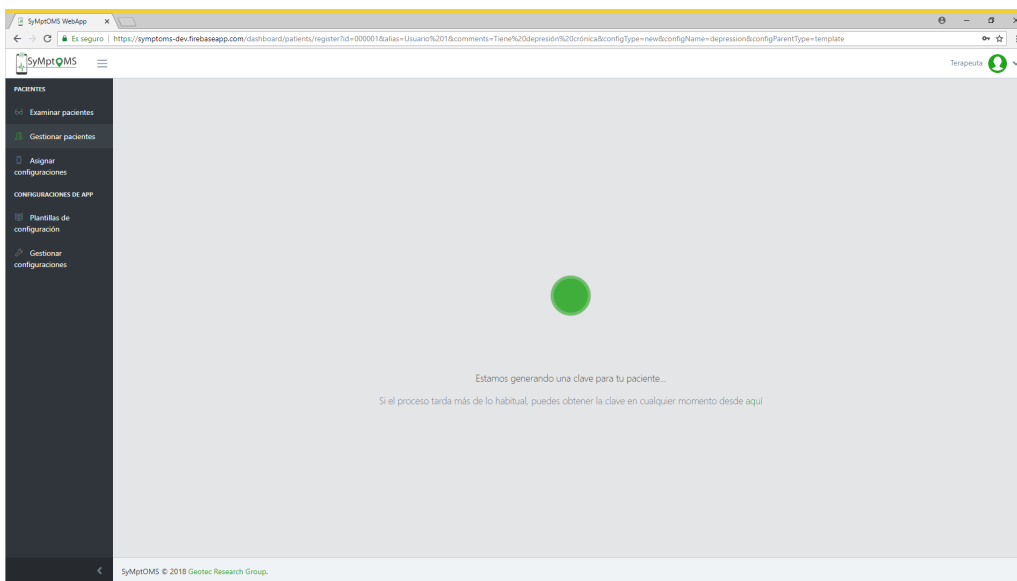


Figura 17: Pantalla de espera que se muestra mientras el asistente finaliza el alta del paciente y su configuración.

Una vez el proceso finaliza, se comunica al terapeuta la clave generada para su paciente **(1)**, tal y como puede observarse en la Figura 18.

En caso de perder esta clave, esta puede ser recuperada a través de la sección de gestión de configuraciones asignadas, presente como enlace en el menú lateral **(2)**.

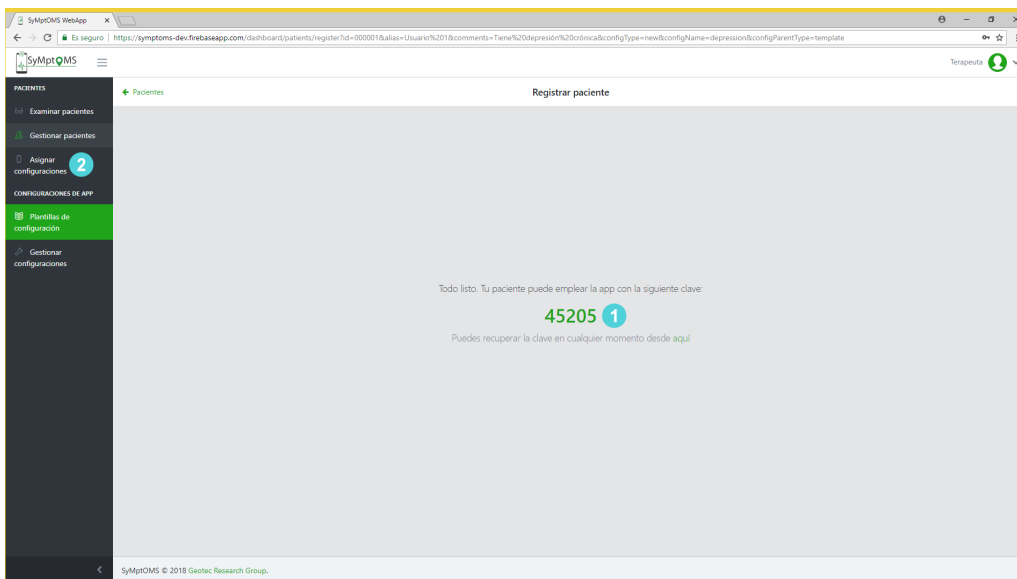


Figura 18: Pantalla mostrando la clave de acceso generada para el paciente tras su registro.

### 3.3.2. Paciente activando la aplicación

Una vez detallado el proceso de registro de un paciente en la plataforma y el de creación de una configuración a medida para el mismo, en este apartado se procede con una breve explicación sobre los pasos que debe seguir un paciente para empezar a reportar información sobre sus hábitos del día a día a su terapeuta durante el tratamiento. El funcionamiento de la aplicación móvil es simple y requiere de una intervención mínima por parte del paciente durante su configuración inicial.

La primera vez que el paciente abre la aplicación después de su instalación, ante él se presenta una pantalla similar a la que puede visualizarse en la Figura 19 (a).

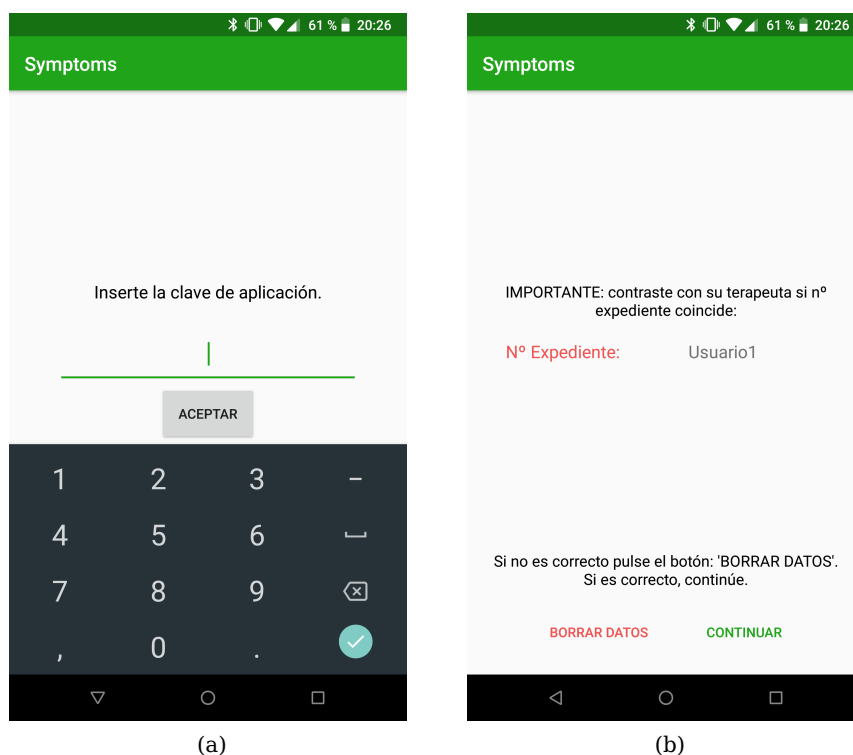


Figura 19: Aplicación móvil solicitando la entrada del usuario: (a) solicitud de clave de acceso al paciente (b) solicitud de confirmación de datos de paciente (nº de expediente)

Adicionalmente, una vez el paciente ha introducido una clave válida, se le solicita que compruebe si los datos de paciente mostrados corresponden con los suyos. Esto ocurre en una pantalla como la que puede observarse en la Figura 19 (b).

En el caso particular en el que la configuración enlazada al paciente requiera de permisos adicionales para poder funcionar, se le solicita su concesión a través de una pantalla como la que aparece en la Figura 20 (a).

Por último, si la aplicación permite el envío de notificaciones al usuario activadas a través de la configuración enlazada al paciente, como en el caso de que la configuración posea

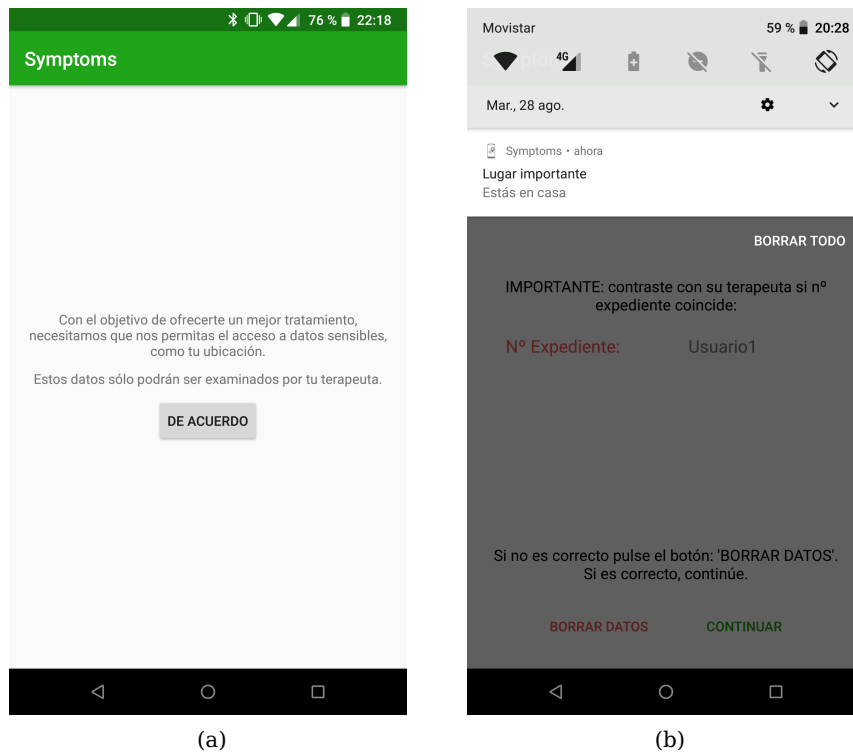


Figura 20: Interacción adicional de la aplicación móvil con el usuario: (a) solicitud de permisos (b) notificación configurada por el terapeuta cuando llega a un lugar determinado

un análisis de lugares importantes. Se notifica al paciente su presencia en estos mediante un mensaje como el que aparece en la Figura 20 (b). El mensaje mostrado admite texto libre, que es introducido por el terapeuta al crear una configuración. Cuando el paciente llega a un lugar importante, queda constancia de ellos añadiendo metadatos específicos a la ubicación capturada al mismo tiempo, que posteriormente se almacena para su análisis posterior.

### 3.3.3. Terapeuta analizando el comportamiento de un paciente

Una vez un paciente posee unas credenciales de entrada, una configuración asignada y su aplicación activada y reportando datos, el terapeuta puede empezar a visualizar la evolución del paciente a lo largo del tratamiento. Esto podrá realizarse a través de una pantalla dispuesta para tal fin, que permite analizar el comportamiento del paciente en base a los análisis que se han configurado en su aplicación.

Para ello, el terapeuta accederá una vez más a la aplicación web con sus credenciales de acceso. Bajo estas circunstancias, la pantalla principal cambia ligeramente con respecto a lo mostrado en la Figura 2. Cuando se cumple esta condición, en su lugar, aparece una pantalla como la que puede verse en la Figura 21.

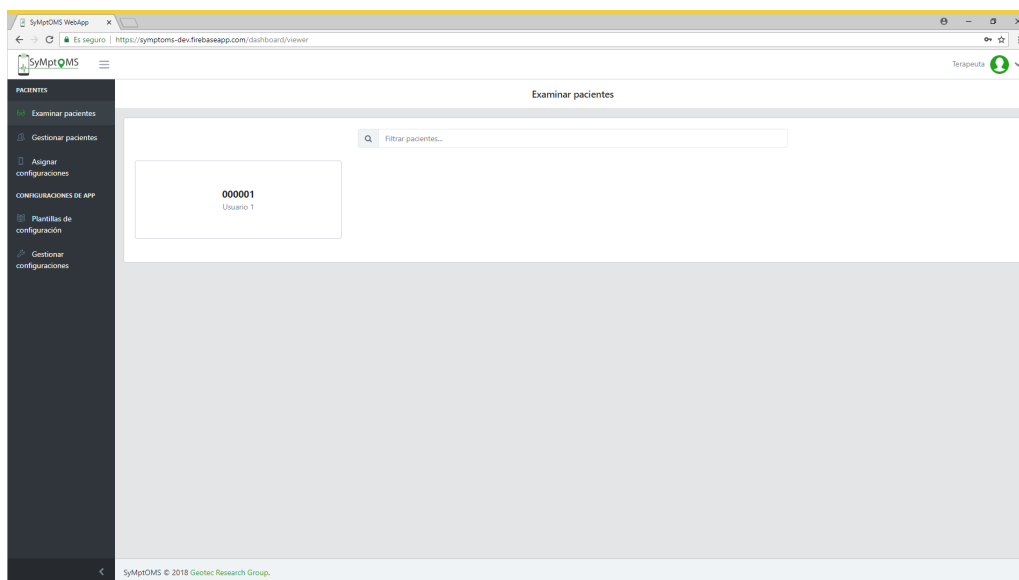
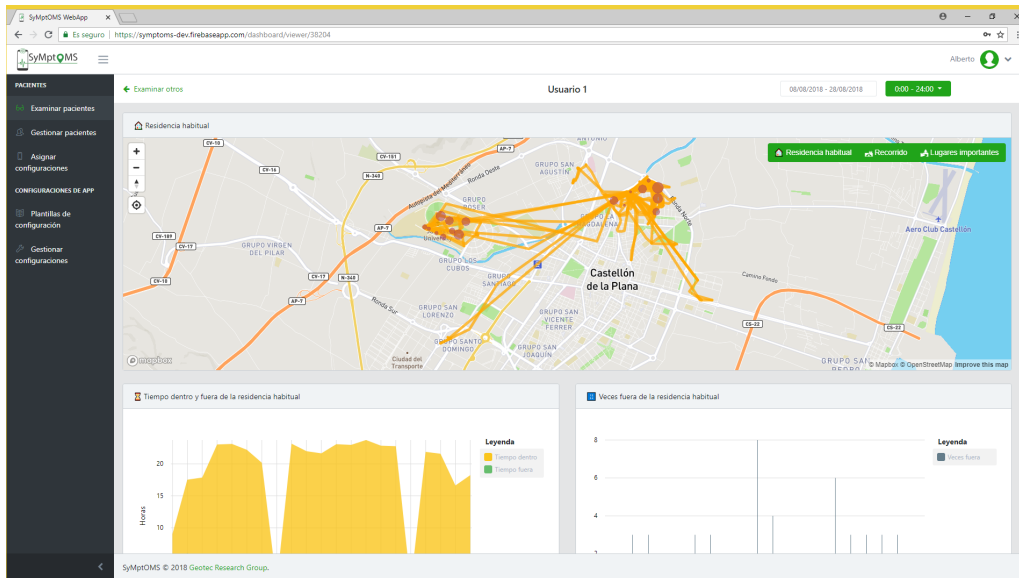
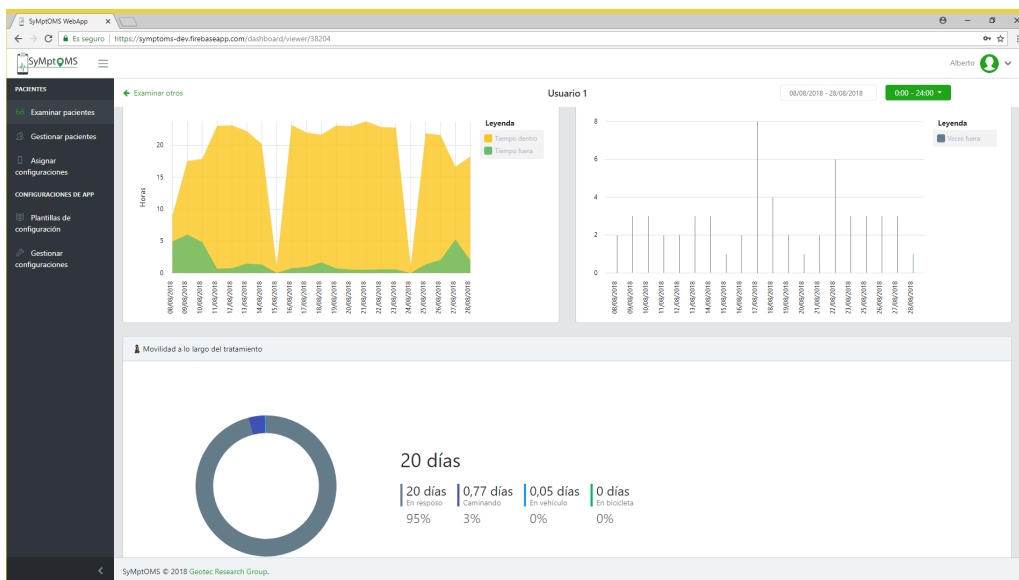


Figura 21: Pantalla de bienvenida mostrando los pacientes del terapeuta que se encuentran en tratamiento.

Esta pantalla contiene un listado de tarjetas con cada uno de los pacientes que está actualmente en tratamiento. Al hacer clic en cualquiera de ellas, si la aplicación instalada en el terminal del paciente ya ha enviado algún registro, se presenta ante el terapeuta una pantalla como la que aparece en la Figura 22.



(a)



(b)

Figura 22: Pantalla que permite evaluar el comportamiento de un paciente a lo largo del tratamiento.



Una vez en esta pantalla, el terapeuta tiene la opción de filtrar los resultados de los análisis por un rango de fechas, comprendido dentro del intervalo temporal de los datos recogidos. Para emplear esta funcionalidad, debe desplegar el selector de fechas **(1)** presente en esta misma pantalla (véase Figura 23). El selector, le permite seleccionar una fecha de inicio **(2)** y una de fin **(3)** (pueden ser el mismo día).

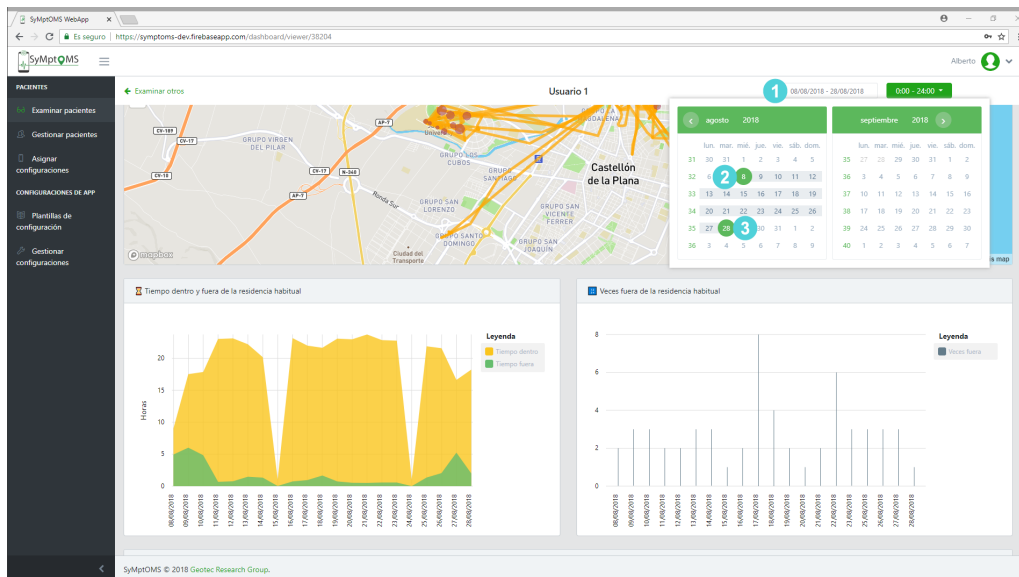


Figura 23: Pantalla de evaluación de paciente con el selector de fechas extendido.

Además del rango de fechas, también es posible limitar la visualización de resultados por intervalos horarios. En la Figura 24, se muestra el selector horario desplegado, a través del cual se pueden restringir los resultados a las franjas de tiempo solicitadas por el grupo de psicología.

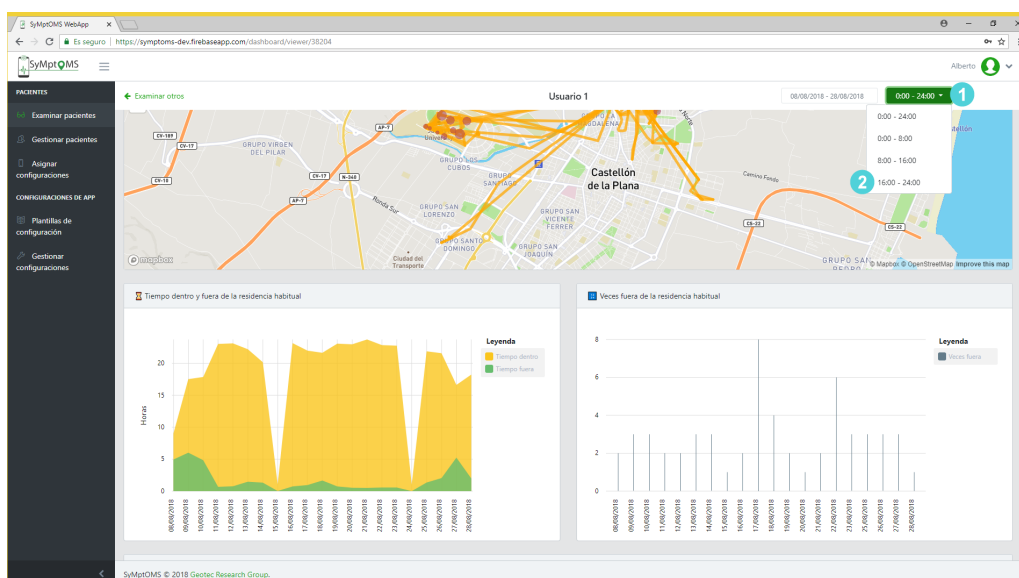


Figura 24: Pantalla de evaluación de paciente con el selector de horario extendido.

Aplicando cualquiera de los dos filtros, por separado o en conjunto, los gráficos presen-

tes en el panel de evaluación (tanto mapas como gráficas), se actualizan automáticamente acorde al intervalo de tiempo especificado (días y horas). Un ejemplo de esto puede observarse en la Figura 25.

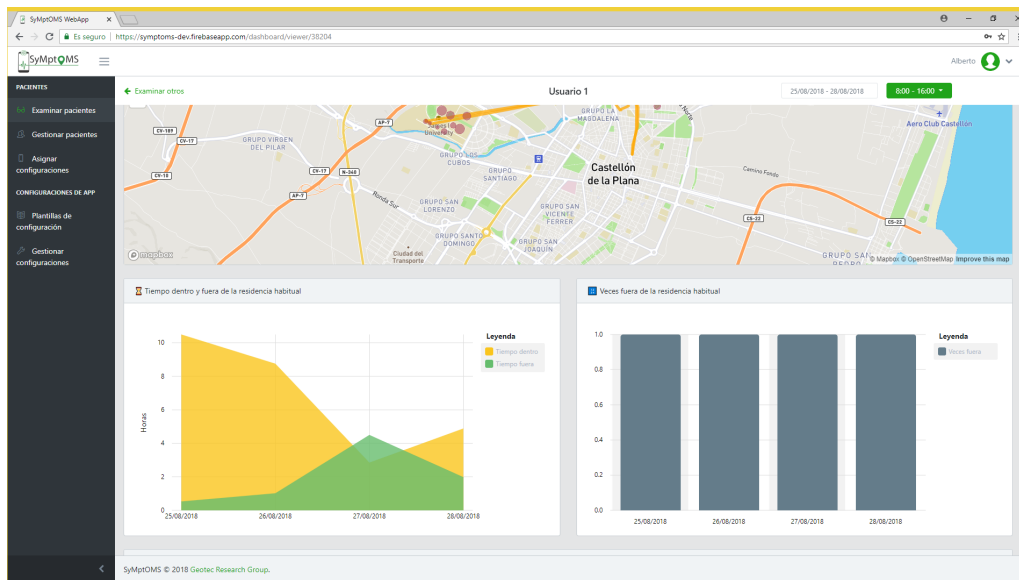


Figura 25: Pantalla de evaluación con resultados de análisis filtrados por rango de fechas e intervalo horario.

Llegados a este punto, toda la funcionalidad principal de la aplicación ha sido presentada. Se ha descrito el proceso completo de funcionamiento de la plataforma, tanto desde el punto de vista del terapeuta como del paciente. Una vez presentada la funcionalidad vista desde fuera (desde el punto de vista de los usuarios), se procederá con la explicación del funcionamiento interno.

## 4. Arquitectura del sistema

Hasta el momento se ha presentado la plataforma a alto nivel, sin llegar a entrar en detalle sobre cada uno de los diferentes elementos que la componen. A lo largo de esta sección, se presentan los detalles del diseño y la arquitectura de todo el sistema, haciendo especial hincapié en cómo se comunican los diferentes componentes entre si. Más adelante en la Sección 5 (Implementación), se darán los detalles sobre las técnicas y tecnologías empleadas para desarrollar cada uno de los componentes que conforman la plataforma.

En la Figura 26 se muestra un diseño a alto nivel con una descomposición a nivel de servicio de todos y cada uno de los componentes del ecosistema de la plataforma desarrollada para este trabajo. Los componentes de la arquitectura entablan comunicación entre si a través de diferentes servicios, tanto propios como de terceros.

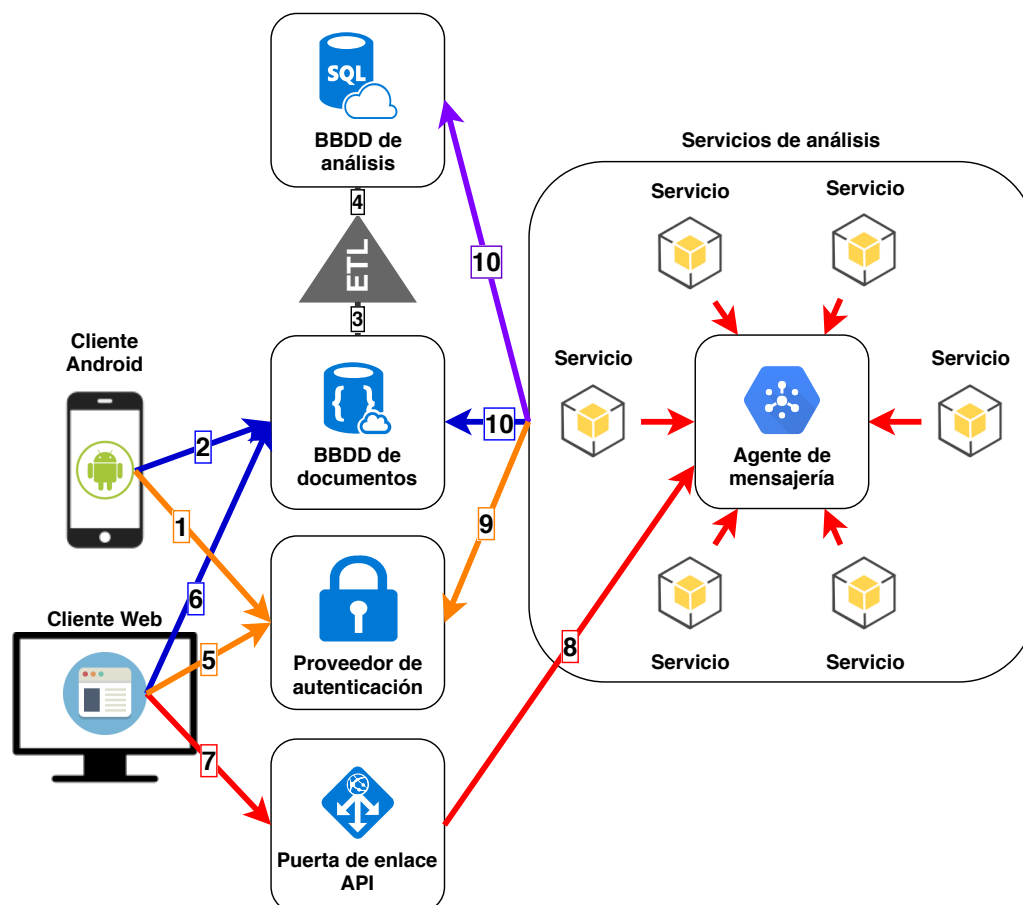


Figura 26: Arquitectura del sistema desarrollado (los colores de las flechas representan el componente al que se conectan y los números la secuencia habitual de llamadas entre componentes).

La **aplicación Android** se comunica tanto con la **BBDD de documentos** como con el **proveedor de autenticación**. De la base de datos, recupera los detalles de inicio de sesión de cada uno de los pacientes y sus configuraciones vinculadas. La aplicación también escribe en ella los registros que se recogen del seguimiento continuo del paciente

(ubicación, datos de sensores, etc.). Un **proceso ETL**<sup>6</sup> crea una copia de cada registro almacenado por la aplicación móvil en una **BBDD de análisis**. Esta BBDD posee funcionalidades avanzadas que facilitan el cálculo de analíticas sobre los datos almacenados en ella. El **proveedor de autenticación** se emplea únicamente para hacer un inicio de sesión anónimo (sin correo electrónico).

El **cliente web** interactúa con la **BBDD de documentos**, en ella escribe datos sobre terapeutas, pacientes y configuraciones de aplicaciones, entre otros. También emplea el **proveedor de autenticación** para el manejo de credenciales de acceso de los terapeutas. El **cliente web** también accede a la **puerta de enlace de la API** para solicitar y recuperar resultados de los análisis ejecutados.

Los datos almacenados en la **BBDD de análisis** son leídos por los **servicios de análisis**. Estos servicios se comunican entre si mediante un **agente de mensajería**, de forma que pueden solicitarse datos los unos a los otros. Esto permite combinar los resultados procedentes de diferentes análisis y obtener así análisis de alto nivel que pueden extraer más información de los datos capturados.

Además de las fuentes de datos disponibles en la **BBDD de análisis** (ubicación, sensores, etc.), los servicios de análisis pueden consultar datos disponibles en la **BBDD de documentos**. Por ejemplo, datos introducidos por los terapeutas a través del cliente web con el objetivo de mejorar y enriquecer el tratamiento (como los lugares que el paciente debe evitar durante el tratamiento). También es posible obtener datos de fuentes externas, pero esta característica no se está explotando por el momento.

Los servicios de análisis también emplean la **BBDD de documentos** la primera vez que se ejecutan para registrarse en un catálogo que contiene los descriptores de servicio de cada una de las analíticas disponibles y accesibles desde el **cliente web**. Gracias a este catálogo, el **cliente web** tiene la capacidad de definir configuraciones a partir de las analíticas disponibles y puede pedir su ejecución bajo demanda a través de la **puerta de enlace de la API**.

Actualmente es el propio desarrollador de la plataforma el que desarrolla y hace que las analíticas estén disponibles para que los terapeutas puedan añadirlas a sus configuraciones. En un futuro, científicos de datos ajenos a la plataforma podrán desarrollar y desplegar nuevos servicios de analíticas que también quedarán accesibles desde la plataforma.

---

<sup>6</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Extract,\\_transform\\_and\\_load](https://es.wikipedia.org/wiki/Extract,_transform_and_load)

## **5. Diseño e implementación**

A lo largo de esta sección se va a proceder con la explicación del procedimiento seguido y las técnicas y tecnologías empleadas con el fin de desarrollar cada uno de los artefactos software que conforman la plataforma.

El desarrollo de algunos componentes no ha partido de cero, si no que se han reaprovechado herramientas existentes las cuales ha sido posible modificar, mejorar y adaptar con el fin de poder emplearlas en el proyecto. Se indicará en cada caso de dónde se ha partido y a dónde se ha llegado, así como el proceso seguido.

A la hora de materializar el diseño de arquitectura presentado en la Sección 4, se han empleado servicios de terceros con el objetivo de agilizar el desarrollo y reducir el coste de despliegue y mantenimiento posterior de todo el sistema. De entre todos ellos, los tres grandes artefactos software desarrollados son: el cliente Android (aplicación móvil), el cliente web (aplicación web) y los servicios de análisis.

A continuación se presentan cada uno de estos tres componentes por separado, indicando en cada caso las tecnologías empleadas en su desarrollo y los servicios de terceros de los que dependen para poder componer el sistema completo.

### **5.1. Aplicación móvil**

La aplicación móvil es uno de los artefactos que surge de una herramienta que ya existía previamente. Se disponía del código fuente de una aplicación prototipo capaz de recoger ubicaciones en segundo plano de los usuarios que la emplean y enviar notificaciones en el caso de que estos entren en unas áreas geográficas definidas con anterioridad (*geofencing*).

#### **5.1.1. Componentes relacionados**

Antes de proceder, recordemos, dentro de la arquitectura completa con qué elementos se relaciona la aplicación móvil (véase la Figura 27).

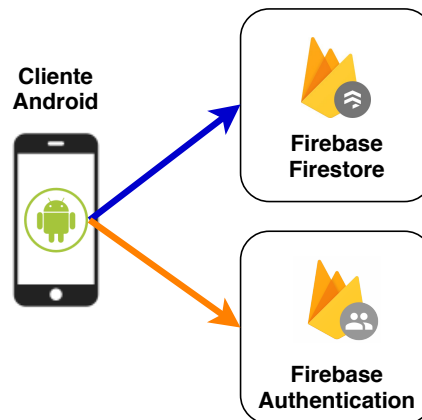


Figura 27: Aplicación Android y elementos de la plataforma con los que interactúa (los colores de las flechas representan el componente al que se conectan).

Para el desarrollo del proyecto se ha escogido la plataforma Firebase<sup>7</sup>, concretamente por su BBDD de documentos en la nube y su proveedor de autenticación centralizado.

Firestore es una *Platform as a Service*<sup>8</sup> (PaaS) que pone al alcance de los desarrolladores una amplia variedad de servicios que reducen en gran medida los costes de desarrollo y mantenimiento de una aplicación. Entre las soluciones que ofrece se encuentran algunas para la autenticación, el almacenamiento de datos no estructurados y el almacenamiento de archivos. Su catálogo es muy extenso y variado y se amplía cada poco tiempo.

Todos estos servicios son accesibles a través de una serie de clientes disponibles para la gran mayoría de las plataformas actuales (web, Android e iOS, entre otras). Estas bibliotecas, además, almacenan una copia local de los datos a los que se ha accedido recientemente, lo que facilita en gran medida que las aplicaciones desarrolladas funcionen también de manera *offline*.

Firestore se enmarca en toda una nueva corriente de plataformas en la nube que ofrecen sus servicios hospedados y mantenidos por las propias empresas que los desarrollan, de esta forma el desarrollador no debe preocuparse por poseer una máquina donde hospedar el código que se ejecuta en el lado del servidor. A este nuevo paradigma se le conoce como *serverless*. A veces este nombre suele llevar a confusión, en síntesis, no significa que no haya servidores involucrados en el funcionamiento del sistema, si no que estos son mantenidos por personal ajeno al proyecto de desarrollo.

La aplicación móvil de este trabajo tan sólo depende de los servicios de autenticación (Firestore Authentication) y de base de datos de documentos (Firestore). El servicio de autenticación se emplea únicamente para realizar un inicio de sesión anónimo en la plataforma. En cambio la base de datos de documentos, que posee un cliente para acceder a ella desde una aplicación Android, se emplea para recuperar detalles sobre el paciente que emplea la aplicación (mediante una clave de acceso), los detalles de la configuración

<sup>7</sup><https://firebase.google.com/>

<sup>8</sup>[https://en.wikipedia.org/wiki/Platform\\_as\\_a\\_service](https://en.wikipedia.org/wiki/Platform_as_a_service)

asociada a su tratamiento y como almacén de los datos de sensores y ubicación capturados cada cierto tiempo mientras el paciente está en tratamiento.

### 5.1.2. Arquitectura y diseño internos

Tal y como se ha mencionado al comienzo de este apartado, la aplicación que aquí se presenta tiene su origen en un prototipo ya existente y funcional que poseía parte de las funcionalidades que debían estar disponibles en esta herramienta.

Es por ello que, al disponer de su código fuente, se decidió partir de esta base en lugar de empezar un proyecto desde cero. Se refactorizó el código desde los cimientos, buscando seguir unas buenas prácticas de ingeniería del software (aplicar los principios SOLID, estructurar el código siguiendo una arquitectura multicapa, entre otros). La estructura interna final es la que aparece en la Figura 28.

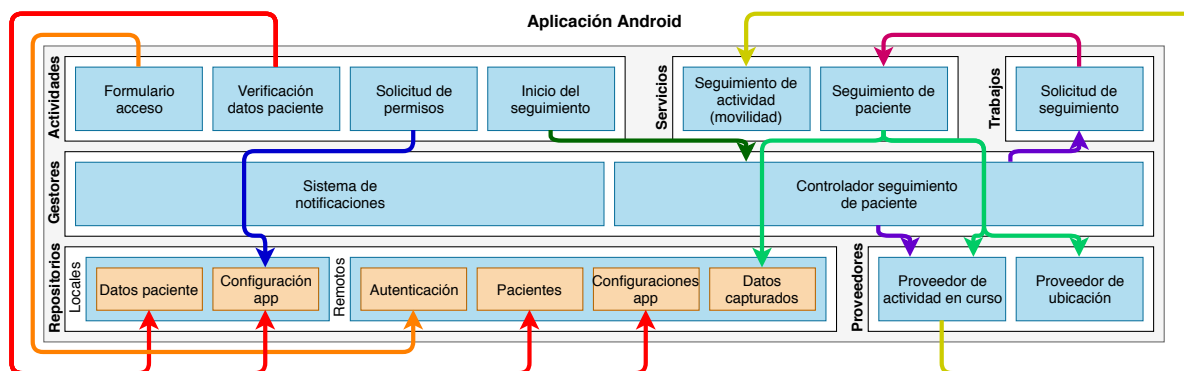


Figura 28: Estructura interna de la aplicación Android, de más alto a más bajo nivel (los colores de las flechas representan la conectividad de cada componente con el resto).

Las aplicaciones Android tienen principalmente dos componentes principales: actividades y servicios. Existen otros tipos de componentes como los *broadcast receivers* o los trabajos planificados, pero estos son secundarios.

La aplicación desarrollada posee 4 actividades principales las cuales intervienen en el proceso de interacción con el usuario. En Android, las actividades representan a las diferentes pantallas que se muestran a través de la interfaz gráfica y que permiten la interacción del usuario con la aplicación.

Las actividades en si no presentan mucha complejidad en esta aplicación, la parte más importante son los servicios. El servicio principal es el servicio de seguimiento del paciente. Cuando este servicio se ejecuta, captura toda la información de los sensores y ubicación requerida por la configuración enlazada al paciente. La ejecución de este servicio se realiza periódicamente mediante la planificación del trabajo de solicitud de seguimiento.

Este trabajo es un trabajo de ejecución única, que tras finalizar su ejecución vuelve a

planificarse para volver a lanzarse un minuto después (el porqué de esta forma de operar en vez de emplear servicios recurrentes se explica en la Sección 6). Para planificar un trabajo en el tiempo se emplea la biblioteca Evernote Android-Job<sup>9</sup>, que permite la ejecución de trabajos planificados en el tiempo en cualquier versión de Android incluidas aquellas más antiguas (a partir de la versión 4).

Además del servicio de seguimiento, la aplicación tiene un servicio que recibe actualizaciones sobre cambios de actividad. El nombre de actividad en este caso puede llevar a confusión, ya que así es como se llaman las vistas en Android. En este caso un cambio de actividad representa que el usuario ha empezado a caminar, correr, ir en bicicleta o subirse a un vehículo, entre otros, llevando el teléfono consigo. Esto suele conocerse como movilidad del usuario. Lo que este servicio recibe son actualizaciones de estado procedentes de la API de reconocimiento de actividad en curso de Android. Este servicio existe porque actualmente no se puede solicitar únicamente la última actividad conocida del usuario, la aplicación ha de escuchar estos cambios y en este caso el servicio almacena la última actividad conocida para su envío cuando se active el trabajo periódico que ordena capturar datos de seguimiento del paciente.

La aplicación posee también gestores, proveedores y repositorios. Los gestores en este caso representan sistemas centrales de la aplicación para el control de determinadas funcionalidades críticas. El gestor de notificaciones permite a varios componentes de la aplicación enviar notificaciones al usuario. El controlador de seguimiento del paciente permite activar o desactivar el seguimiento. Este se activa también cuando el teléfono se ha reiniciado, gracias a un *broadcast receiver* que escucha al evento emitido tras el arranque del sistema.

En cuanto a los proveedores, existe un proveedor de actividad en curso, que tan sólo solicita la activación o desactivación de los eventos de cambio de actividad que recibe el servicio de seguimiento de actividad. También existe un proveedor de localización que ya existía en el prototipo del que parte esta aplicación y que en este caso se ha mejorado. Bajo el capó, ahora este proveedor utiliza un proveedor de ubicación que no solo se basa en GPS para obtener la ubicación del usuario sino que también emplea las celdas de telefonía y las señales wifi así como diversos sensores del teléfono como son el acelerómetro, el giroscopio y el magnetómetro. Se trata de un proveedor que ofrece Google a través de sus Google Play Services<sup>10</sup>, presente en todos los teléfonos a partir de la versión 4 de sistema operativo. En la Sección 6, se presenta la mejora que ha supuesto emplear este proveedor de localización como sustituto del que se estaba empleando hasta el momento.

Para terminar, mencionar brevemente el funcionamiento de los diferentes repositorios de datos disponibles en la aplicación. Estos se dividen en locales y remotos. Los repositorios locales almacenan datos en la BBDD SQLite local, empleando para ello la biblioteca Room Persistence Library<sup>11</sup> de Google que facilita esta tarea. En el caso de los repositorios remotos, estos emplean el cliente de Firebase Firestore para Android con el objetivo

---

<sup>9</sup><http://evernote.github.io/android-job/>

<sup>10</sup><https://developers.google.com/location-context/fused-location-provider/>

<sup>11</sup><https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/room>



de almacenar y recuperar datos de la BBDD de documentos en la nube que ofrece esta plataforma.

Todos los componentes de la aplicación se relacionan entre si empleando el paradigma de programación reactiva. Para tal fin se emplean las bibliotecas RxJava<sup>12</sup> y RxAndroid<sup>13</sup> que permiten definir canales observables para transmitir flujos de información desde los repositorios hasta las actividades y servicios que conforman la aplicación.

## 5.2. Aplicación web

La aplicación web es otra de las herramientas que también surge de un proyecto ya existente. En este caso se trataba de una aplicación a modo de panel de control de la aplicación móvil prototipo descrita al comienzo del apartado anterior.

Este panel de control se enfocaba en el soporte al desarrollo de *geogames* (juegos con un componente geográfico). La aplicación permitía crear aplicaciones nuevas, a las cuales se les podía añadir lugares (áreas de juego). También permitía el registro de usuarios. Finalmente, la aplicación permitía visualizar los datos de ubicación reportados por los jugadores como posiciones en un mapa.

### 5.2.1. Componentes relacionados

Al igual que con la aplicación móvil, recordemos con qué elementos se relaciona la aplicación web. En la Figura 29, se presenta la aplicación web y los componentes de la arquitectura con los que interactúa.

La aplicación web ya en funcionamiento se sirve desde Firebase Hosting, un servicio de la plataforma que no se había descrito hasta el momento. El hospedaje de Firebase permite que los desarrolladores suban su proyecto web a la plataforma directamente desde la consola de comandos (no es necesario emplear el típico cliente FTP), además todo los ficheros que se envían se distribuyen a través de una Content Delivery Network (CDN) lo que hace que la aplicación cargue con una latencia mínima independientemente de la zona geográfica en la que nos encontremos.

La aplicación también se comunica con Firebase Firestore, para leer y escribir datos sobre terapeutas, pacientes y configuraciones de aplicaciones, entre otros. También emplea Firebase Authentication para el registro e inicio de sesión de los terapeutas.

Finalmente, se comunica con los servicios de análisis a través de la puerta de enlace de la API de análisis. Estos servicios y todo el ecosistema de aplicaciones y herramientas en el que se encuentran envueltos se presentarán en el próximo apartado.

---

<sup>12</sup><https://github.com/ReactiveX/RxJava>

<sup>13</sup><https://github.com/ReactiveX/RxAndroid>

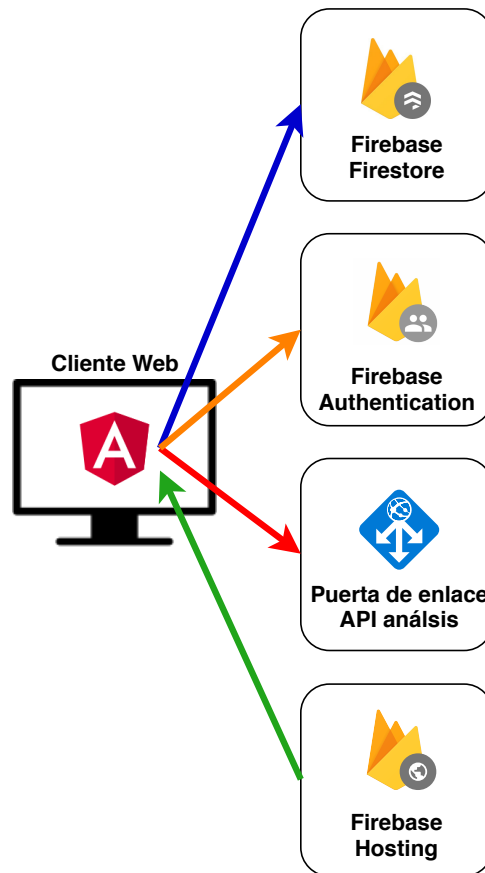


Figura 29: Aplicación web y elementos de la plataforma con los que interactúa (los colores de las flechas representan el componente al que se conectan).

### 5.2.2. Arquitectura y diseño internos

Esta aplicación se ha remodelado desde cero con respecto a la herramienta de la que se partía. De ella tan sólo queda la gestión de superusuarios (terapeutas), usuarios (pacientes) y un componente que permite marcar y etiquetar áreas geográficas (empleado para añadir lugares importantes para el tratamiento). Todos lo demás elementos se han rehecho desde cero y se han extendido con nuevos asistentes de configuración de aplicaciones y paneles de visualización.

La arquitectura final de la aplicación aparece representada en la Figura 30. La aplicación web está íntegramente desarrollada empleando el *framework* Angular<sup>14</sup> (también conocido como Angular2, nombre que ha dejado de tener sentido al encontrarse el *framework* ya en su versión 6 en el momento de la escritura de este documento).

Angular es un *framework* completo, a diferencia de otras bibliotecas como React que tan sólo manejan las vistas de una aplicación, Angular incluye primitivas para poder trabajar con la vista, mantener el estado de la aplicación, hacer peticiones a servicios externos

<sup>14</sup><https://angular.io/>

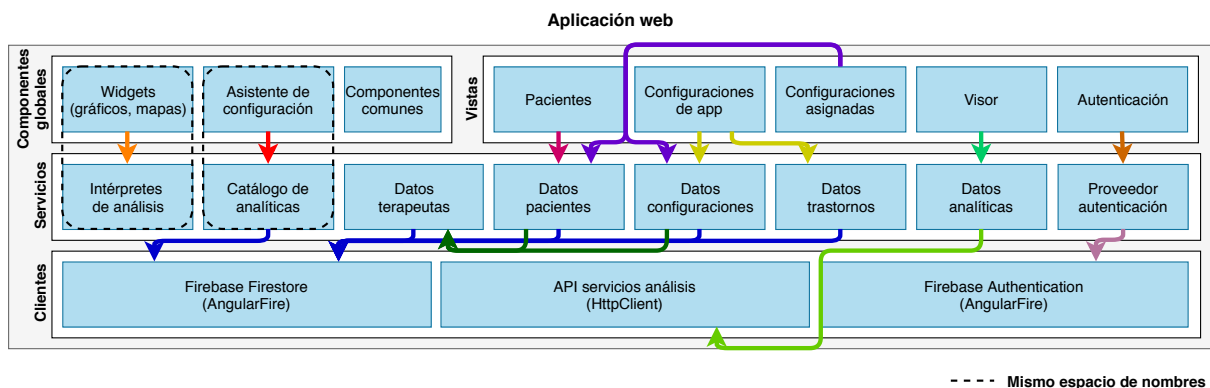


Figura 30: Estructura interna de la aplicación web, de más alto a más bajo nivel (los colores de las flechas representan la conectividad de cada componente con el resto).

(mediante un cliente HTTP), componer animaciones, crear rutas a diferentes secciones de la aplicación en el lado del cliente (lo que se conoce como Single-page Application<sup>15</sup>, empleando un solo fichero index.html), etc.

Antes de proceder, explicaremos brevemente los conceptos necesarios para poder comprender la estructura de la aplicación. Las tres primitivas básicas más importantes que ofrece Angular son: los módulos, los componentes y los servicios. Existen muchas otras, pero no tienen prácticamente relevancia en esta aplicación.

Un módulo es como un espacio de nombres donde componentes y servicios pueden intercambiar información entre sí, sin necesidad de que otros elementos contenidos en otros módulos sean conscientes siquiera de su existencia.

Un componente es una vista. Si carga al acceder a una ruta entonces comúnmente se le llama componente de primer nivel, si está anidado dentro de otro componente, entonces es un componente de segundo nivel. Un componente de primer nivel sería por ejemplo la pantalla de bienvenida, mientras que uno de segundo sería el *widget* de un mapa.

Los servicios permiten que los componentes intercambien información entre sí y con elementos externos (servicios HTTP, por ejemplo).

Una vez presentadas las primitivas de Angular más relevantes, volvamos con la estructura de la aplicación. La aplicación tiene varias vistas, que son accesibles desde rutas (componentes de primer nivel). Existen vistas para: administrar pacientes, gestionar las configuraciones de las aplicaciones, enlazar a ambos (pacientes y configuraciones), examinar las analíticas obtenidas a partir de los datos de los pacientes y registrarse e iniciar sesión.

Estas vistas comparten componentes entre ellas (componentes de segundo nivel). Estos componentes están agrupados en 3 grandes módulos. Existe un módulo para componentes comunes: pantallas de carga, cabeceras, etc. Este módulo es el más simple de los tres y

<sup>15</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Single-page\\_application](https://es.wikipedia.org/wiki/Single-page_application)

apenas tiene lógica.

Otro módulo contiene todos los componentes necesarios para mostrar un panel de visualización (editable o no). Este módulo contiene los *widgets* de los mapas y las gráficas. Y además contiene varios servicios, no accesibles externamente, que contienen los procesos necesarios para tratar y procesar los datos procedentes de los análisis para que puedan ser visualizados. Este módulo emplea dependencias externas para representar los mapas y las gráficas. Para los mapas se utiliza Mapbox GL JS<sup>16</sup> (a través de su envoltura creada para Angular) y para las gráficas se emplea ngx-charts<sup>17</sup> (una envoltura de D3.js<sup>18</sup> para Angular, con algunas gráficas ya definidas en forma de componentes).

Existe otro gran módulo que encapsula todos los componentes necesarios para construir una configuración de una aplicación. Este módulo se emplea tanto al crear un paciente (y durante el proceso, también crear una configuración personalizada para este) como al crear una configuración independiente desde la sección de configuraciones.

Finalmente existen múltiples servicios para acceder a los datos almacenados en la BBDD de documentos de Firebase (Firestore), un servicio que controla todo el proceso de registro e inicio de sesión a través de Firebase Authentication y otro servicio que consulta la API de análisis para recuperar analíticas calculadas a partir de los datos enviados por los pacientes empleando la aplicación móvil.

Al ser Angular un producto Google, al igual que Firebase, ambos equipos de desarrollo han trabajado conjuntamente para crear la biblioteca AngularFire<sup>19</sup>, que mejora la interoperabilidad entre el *framework* y los servicios de la PaaS. Se ha empleado AngularFire en aquellos servicios que se comunican con las APIs de Firebase (Firestore y Authentication en este caso).

Por último, recalcar que esta aplicación también se ha desarrollado empleando íntegramente programación reactiva. Para ello se ha utilizado la librería RxJS<sup>20</sup> (muy similar a RxJava), la cual viene incluida con Angular.

### 5.3. Servicios de analíticas

El último artefacto software desarrollado para la plataforma son los servicios de analíticas, los cuales son en realidad, múltiples artefactos.

Este último macrocomponente se ha desarrollado desde cero y no proviene de ningún sistema anterior, a diferencia de los dos artefactos software anteriores.

---

<sup>16</sup><https://www.mapbox.com/mapbox-gl-js/api/>

<sup>17</sup><https://swimlane.github.io/ngx-charts>

<sup>18</sup><https://d3js.org/>

<sup>19</sup><https://github.com/angular/angularfire2>

<sup>20</sup><https://rxjs-dev.firebaseapp.com/>

Uno de los requisitos software de la plataforma es que debe tener flexibilidad a la hora de añadir nuevas analíticas para hacerlas disponibles a los terapeutas. Además de esto, las analíticas deben poder componerse entre sí. Es decir, algunas de ellas trabajan directamente sobre las fuentes de datos (ubicación, movilidad del paciente, datos externos provistos por terceros, etc.), pero otras tienen como fuente o fuentes de datos el resultado de otras analíticas además de las otras fuentes de datos.

### 5.3.1. Componentes relacionados

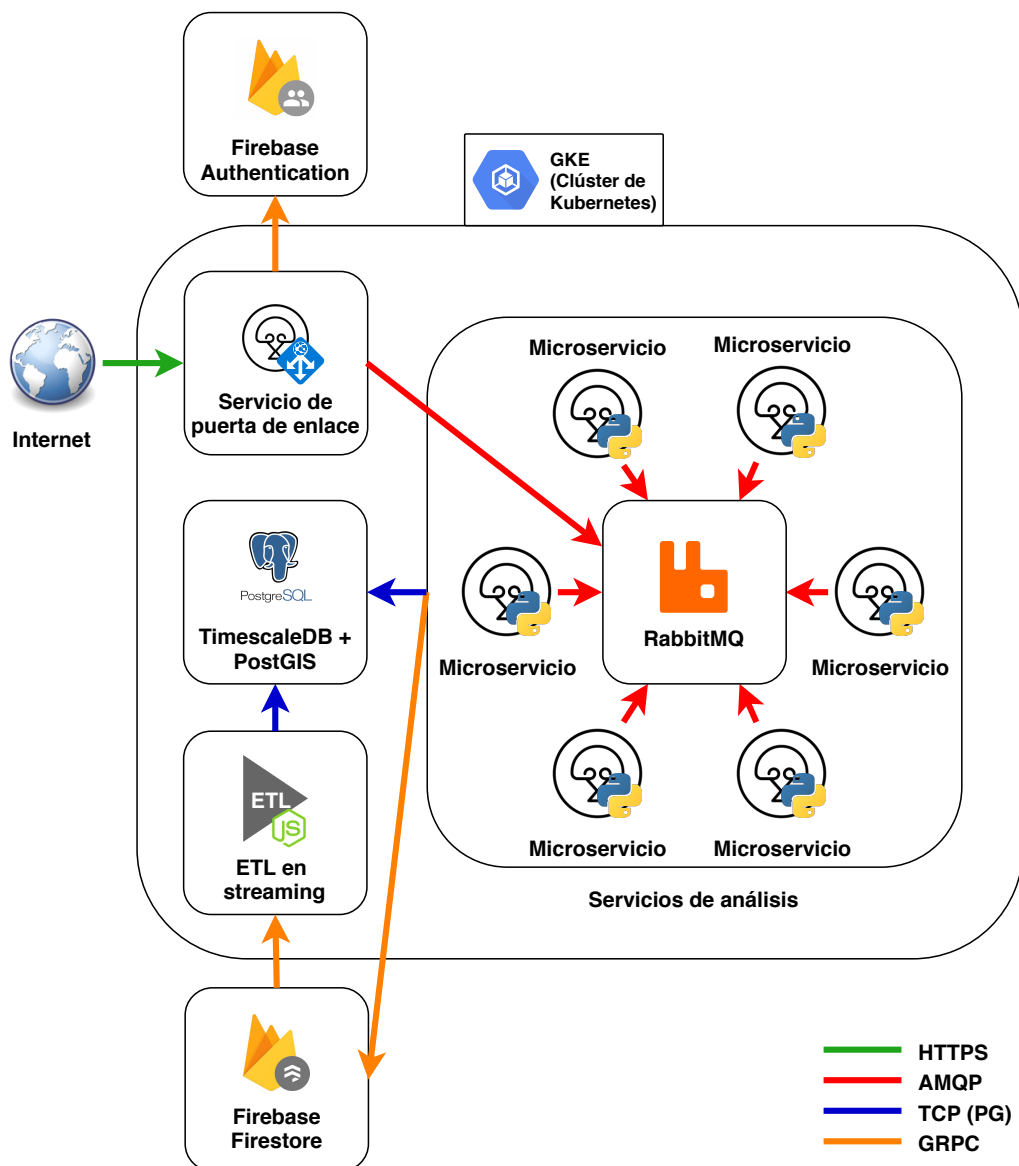


Figura 31: Arquitectura del ecosistema de servicios (incluyendo los protocolos de comunicación empleados entre los diferentes componentes).

Para cumplir este objetivo, se ha decidido seguir la aproximación de una arquitectura de servicios totalmente desacoplada, siguiendo un paradigma ya probado en la industria

como es la arquitectura orientada a microservicios<sup>21</sup>. El diagrama de la Figura 31 muestra esta arquitectura aplicada a los servicios de análisis del proyecto y los componentes con los que se relacionan.

En este diagrama cada microservicio representa un análisis (residencia habitual, tiempo dentro y fuera de la residencia, etc.). El número de microservicios representados no coincide con el número total de análisis disponibles real, simplemente sirve para ilustrar que hay más de uno.

Los servicios se comunican entre si y con el exterior a través de un agente de mensajería. Para esta implementación se ha escogido el agente RabbitMQ<sup>22</sup> por su facilidad de despliegue, clientes disponibles, documentación y garantías de entrega de los mensajes enviados a través de él.

Un agente de mensajería define tópicos y colas que se enlazan con esos tópicos. Un cliente conectado al agente puede publicar un mensaje a un tópico y/o suscribirse a una cola para recibir los mensajes que se publican en aquel o aquellos tópicos a los que está enlazada. Para que clientes y agente se comuniquen existen varios protocolos de comunicación, en este caso RabbitMQ emplea el protocolo AMQP<sup>23</sup> por defecto y es el que se está empleando en la aplicación.

Esta forma de comunicarse permite aplicar mecanismos de comunicación como las llamadas a procedimiento remoto (RPC) de una forma totalmente desacoplada, sin necesidad de conocer quien es el destinatario y sin que este tenga que estar en marcha en el momento de realizar la petición (se encola y se atiende cuando el servicio de destino arranca de nuevo).

Cada microservicio de análisis expone una interfaz RPC la cual puede ser invocada desde otro microservicio (por ejemplo, para componer varios análisis) o desde la puerta de enlace de la API (por ejemplo, para atender a una petición de análisis del cliente web).

La puerta de enlace de la API es también a su vez un microservicio que se encuentra entre dos mundos: el ecosistema interno de microservicios, al cual accede a través del agente de mensajería RabbitMQ, e internet, donde escucha peticiones HTTPs procedentes del cliente web o cualquier otro cliente autorizado. Para saber si el cliente está autorizado a realizar una petición de análisis, cada petición debe venir acompañada de un token de autorización, que se genera desde el cliente web y se contrasta con el servicio de Firebase Authentication.

Los microservicios de análisis, además de obtener información procedente de los resultados emitidos por otros servicios también acceden a la BBDD de documentos Firebase Firestore para obtener información adicional presentes en la configuración sobre la que se calcula un análisis. Un ejemplo son los lugares importantes introducidos por el terapeuta

---

<sup>21</sup><https://martinfowler.com/articles/microservices.html>

<sup>22</sup><https://www.rabbitmq.com/>

<sup>23</sup>[https://es.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_Message\\_Queueing\\_Protocol](https://es.wikipedia.org/wiki/Advanced_Message_Queueing_Protocol)

al dar de alta una configuración que incluye este tipo de análisis.

Además de a la BBDD de documentos, los microservicios de análisis también acceden a una BBDD relacional con capacidades especiales que permiten ejecutar análisis directamente sobre ella. Para esta implementación se ha escogido una BBDD relacional PostgreSQL con dos extensiones: TimescaleDB<sup>24</sup>, para disponer de funciones más potentes a la hora de realizar análisis temporales, y PostGIS<sup>25</sup>, que dota a la BBDD de funciones que habilitan las consultas espaciales sobre los datos almacenados en ella.

La BBDD de análisis contiene una copia de los datos reportados por la aplicación móvil y almacenados en Firebase Firestore (BBDD cuyo sistema de consultas NoSQL carece de la capacidad necesaria para ejecutar los análisis requeridos para este proyecto). La copia de estos datos se realiza en *streaming* a través de un proceso Extract-Transform-Load (ETL) (un servicio separado del resto), el cual es notificado cuando se produce la escritura de un registro en Firestore por parte de la aplicación móvil (una ubicación, un cambio de actividad, etc.).

Cada uno de los diferentes elementos del ecosistema de servicios de análisis (puerta de enlace, BBDD de análisis, proceso ETL, agente de mensajería y los diferentes microservicios de análisis) se encuentra embebido en un contenedor Docker<sup>26</sup>.

Docker es una tecnología similar a un entorno de virtualización, pero de más alto nivel. En una máquina virtual se arranca todo un sistema desde cero (se virtualiza el hardware). Un contenedor Docker en su lugar se virtualiza sobre el kernel del sistema anfitrión. Esto hace que los contenedores de Docker sean más ligeros que una máquina virtual. Cada contenedor de un entorno de ejecución Docker se encuentra aislado del sistema anfitrión y del resto de contenedores que se ejecutan al mismo tiempo en este. El administrador del entorno Docker puede establecer canales de comunicación entre los contenedores y el sistema anfitrión con propósitos específicos (abrir un puerto de comunicaciones, dar acceso a una ruta del sistema de ficheros anfitrión, entre otros).

Los contenedores Docker se ejecutan a partir de imágenes. Las imágenes se crean sólo una vez (una por versión de la aplicación que contienen). Dentro se almacenan las dependencias que esta aplicación necesita para ejecutarse encima del kernel (aplicaciones del SO, bibliotecas del sistema, entornos de ejecución para lenguajes interpretados, etc.). Esto permite que todo un ecosistema de contenedores pueda eliminarse de un entorno de ejecución concreto y moverse a otro con la única necesidad de instalar Docker en el equipo servidor donde va a ejecutarse.

Una de las ventajas de Docker es la posibilidad de crear entornos de ejecución distribuidos, en los cuales la carga de trabajo de ejecutar múltiples contenedores se reparte entre varios servidores. A estos entornos de ejecución distribuidos se los denomina sistemas de orquestación. Uno de estos sistemas de orquestación es Kubernetes<sup>27</sup> y es el que se está

---

<sup>24</sup><https://www.timescale.com/>

<sup>25</sup><https://postgis.net/>

<sup>26</sup><https://www.docker.com/>

<sup>27</sup><https://kubernetes.io/>

empleando para desplegar todo el ecosistema de servicios de la plataforma.

Los servicios de la plataforma se ejecutan en un *clúster* formado por 3 máquinas (instancias n1-standard-1) administradas a través de la plataforma Google Cloud Platform<sup>28</sup> (GCP) empleando su Google Kubernetes Engine (GKE). Estas máquinas en su conjunto hacen un total de 3 núcleos de CPU y 11,25 GB de RAM, capacidad suficiente para ejecutar todos los servicios de la plataforma.

Las ventajas de este diseño, arquitectura y despliegue son:

- Cada servicio es independiente del resto, puede apagarse y volver a arrancarse sin necesidad de que el resto de servicios dejen de funcionar (las peticiones de trabajo se encolan).
- Pueden añadirse servicios de análisis “al vuelo”, el resto de servicios son notificados de su presencia y pueden empezar a hacer peticiones al nuevo servicio.
- Un servicio con una carga de trabajo superior a la media (por ejemplo, un análisis invocado por varios análisis), puede instanciarse más de una vez para que las instancias se repartan la carga de trabajo entre ellas.
- Relacionado con el punto anterior, cada servicio puede instanciarse más de una vez a través de un proceso automatizado cuando se detecta un pico de carga para no penalizar la experiencia de usuario desde los clientes.
- Los servicios pueden llamarse los unos a los otros y componer nuevos resultados a partir de sus respuestas sin necesidad de conocerse los unos a los otros. Se trabaja por tópicos. Es decir, un servicio pide un análisis de tipo X, no le importa quién sea el servicio que le responda, tan solo que alguno responda.

### 5.3.2. Arquitectura y diseño internos de cada uno de los servicios

#### Proceso ETL

El proceso ETL es una aplicación Node.js<sup>29</sup> programada en TypeScript<sup>30</sup> (un superconjunto de JavaScript con tipado). Su única tarea es la de suscribirse a las colecciones de Firestore que contienen registros de datos almacenados por la aplicación móvil y cada vez que aparece un registro nuevo, almacenarlo en la tabla correspondiente de la BBDD relacional de análisis (PostgreSQL).

Se ha escogido emplear Node.js para el desarrollo de este proceso debido a que su cliente para Firebase Firestore es de los pocos que admite suscribirse a eventos producidos por la BBDD (escritura, modificación y borrado).

---

<sup>28</sup><https://cloud.google.com/>

<sup>29</sup><https://nodejs.org/es/>

<sup>30</sup><https://www.typescriptlang.org/>



## Puerta de enlace de la API

El servicio de puerta de enlace está programado en Python empleando el *framework* de microservicios Nameko<sup>31</sup>. Nameko provee de diferentes utilidades para comunicar microservicios programados en Python con el mundo exterior. Los dos mecanismos más importantes son RPC y HTTP. Para el mecanismo RPC emplea el protocolo AMQP para comunicar varios servicios entre si.

El servicio de puerta de enlace emplea el mecanismo basado en protocolo HTTP para recibir peticiones procedentes de los clientes de la API. Estas peticiones pasan antes de llegar al servicio por un balanceador de carga que lo expone a Internet, que protege las peticiones HTTP, convirtiéndolas en HTTPS (protocolo que emplean los clientes). El balanceador de carga está proporcionado por Google Cloud Platform (GPC) y es un Google Cloud LoadBalancer.

Cuando llega una petición HTTP al servicio de puerta de enlace de la API, este consulta si la petición está autorizada. Para ello comprueba el *token* de acceso consultando al servicio Firebase Authentication (el proveedor de autenticación de todo el sistema).

Una vez autorizada la petición, enruta esta hacia el servicio de análisis correspondiente (empleando el protocolo RPC). El camino que sigue una petición se ilustra en la Figura 32.

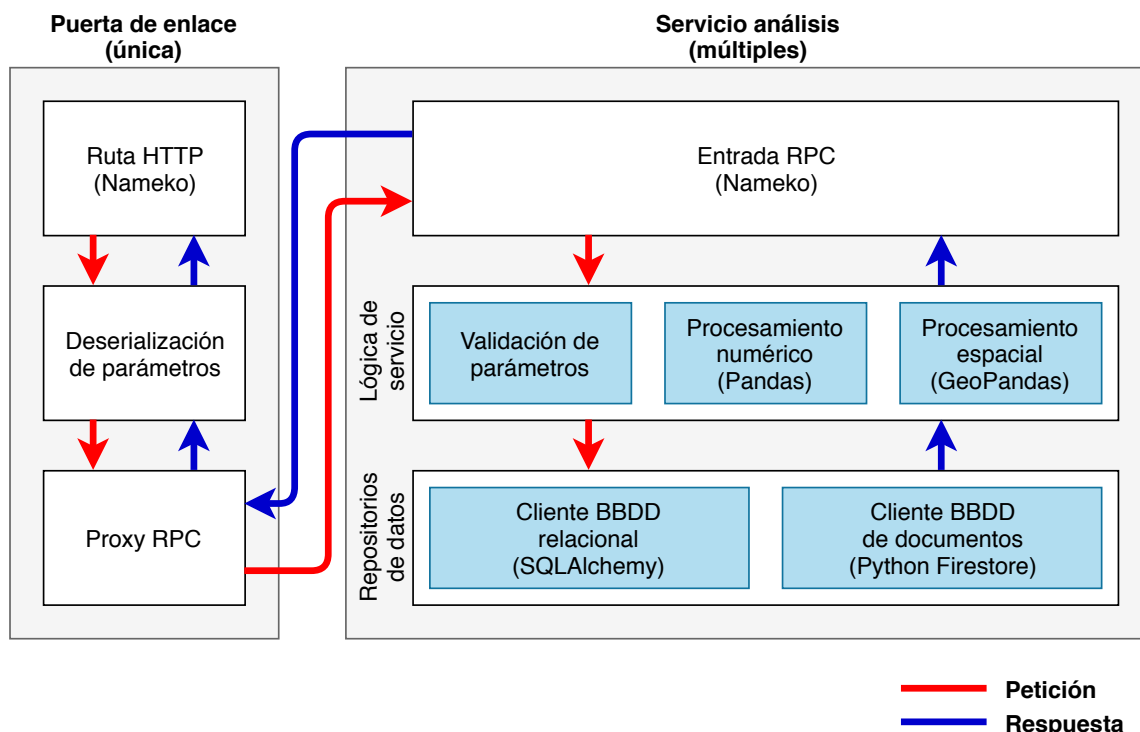


Figura 32: Camino que sigue una petición HTTP autorizada al llamar a la puerta de enlace de la API.

<sup>31</sup><https://www.nameko.io/>

## **Análisis de residencia habitual**

El análisis de residencia habitual, al igual que el resto de análisis, es un microservicio programado en Python empleando el *framework* Nameko. A diferencia del servicio de puerta de enlace, este servicio se expone al exterior únicamente empleando el protocolo RPC (a través del agente de mensajería, al cual se conecta).

Además de ofrecer mecanismos para facilitar la comunicación entre servicios, Nameko también incorpora un mecanismo de inyección de dependencias. Este servicio depende de un servicio muy simple el cual tan sólo devuelve, dado un identificador de tratamiento (enlace entre paciente y configuración de aplicación), cuándo empiezan y acaban los datos reportados a lo largo de este.

Además del servicio de intervalos de tiempo, el cual se invoca empleando el protocolo RPC (es otro microservicio), al servicio de análisis de la residencia habitual se le inyecta un repositorio. Un repositorio es un mecanismo de acceso a datos externos (en este caso datos de la BBDD de análisis) con una funcionalidad general que puede ser reutilizada por varios servicios.

En este caso, este repositorio consulta la BBDD de análisis empleando como parámetros el día de comienzo del tratamiento y el identificador de tratamiento. Con ambos datos, se ejecuta una consulta SQL con funcionalidad espacial que devuelve la geometría circular mínima, capaz de contener la mayor agrupación de ubicaciones reportadas por la aplicación móvil a lo largo de la noche durante los primeros 3 días de tratamiento.

A partir de una serie de experimentos, se ha decidido que esta geometría es capaz de representar con suficiente precisión el área del lugar de residencia de un paciente, es decir, el lugar donde descansa por las noches durante el tratamiento (véase la Sección 6, para más información al respecto).

Se emplea la biblioteca GeoPandas<sup>32</sup>, una biblioteca de análisis geoespacial disponible en Python, para procesar el resultado de la consulta espacial e instanciar un objeto Python con su contenido (la geometría). El resultado es devuelto al servicio, que convierte la geometría al formato estándar GeoJSON<sup>33</sup>, un formato de representación de geometrías vectoriales basado en el formato JSON, capaz de ser procesado por una gran variedad de sistemas de información geográfica (SIG). La geometría en formato GeoJSON es devuelta como resultado de la llamada al procedimiento.

## **Análisis de recorrido**

El análisis de recorrido comparte similitudes con el análisis de residencia habitual. En este caso no depende del servicio que proporciona el intervalo de tiempo del tratamiento,

---

<sup>32</sup><http://geopandas.org/>

<sup>33</sup><http://geojson.org/>

si no que se le suministra el intervalo como argumento cuando se le invoca remotamente, al igual que el identificador de tratamiento y el segmento horario (el intervalo de horas, 0-8, 8-16, 16-24, 0-24).

Este servicio también depende de un repositorio, que posee un método que recibe como argumento los parámetros mencionados anteriormente y los emplea para realizar una consulta espacial que recoge las coordenadas enviadas por el paciente en el intervalo de tiempo y segmento horario especificado.

En un futuro se mejorará la implementación de este análisis para dividir el recorrido devuelto en diferentes segmentos. Actualmente está formado por una única línea. También se aproximarán cada uno de los diferentes segmentos al callejero para mejorar la visualización de los recorridos seguidos por el paciente.

El repositorio también instancia un objeto de GeoPandas conteniendo la línea devuelta por la consulta realizada a la BBDD. Este objeto es devuelto al servicio para su representación como GeoJSON y envío como respuesta a la llamada al procedimiento.

## **Análisis de tiempo dentro y fuera de la residencia habitual**

El análisis de tiempo dentro y fuera de la residencia habitual es un análisis avanzado de segundo nivel (porque depende de otro análisis para calcular su resultado). En este caso, el servicio toma como parámetro los mismos datos que recoge el servicio de análisis de recorrido y además depende del servicio de análisis de residencia habitual para obtener la geometría de la residencia del paciente.

Con toda esta información, se invoca el método de un repositorio, que dada una geometría es capaz de calcular el tiempo que pasa el paciente dentro y fuera de esta por cada día de tratamiento (la respuesta también está acotada por intervalo de tiempo y franja horaria). Actualmente este repositorio se está empleando únicamente para obtener el tiempo dentro y fuera de la residencia habitual, pero podría ser empleado por cualquier otro análisis para calcular el tiempo dentro y fuera de otra geometría cualquiera (un lugar importante para el tratamiento, por ejemplo). Esto indica que la plataforma no sólo permite la composición de servicios para crear análisis más avanzados, si no que también permite la reusabilidad a nivel de capa de acceso y consulta de datos (repositorios).

En este caso el resultado de la consulta es tabular, aunque se emplea información geoespacial para realizarla. El resultado tabular se recoge en una estructura de datos de la biblioteca Pandas<sup>34</sup> (similar a GeoPandas pero para realizar análisis numérico en lugar de espacial).

El objeto pandas es devuelto al servicio, que formatea el resultado como una serie de datos temporal (formato propietario definido por la plataforma) y lo convierte a JSON para

---

<sup>34</sup><https://pandas.pydata.org/>

su envío de vuelta.

### **Análisis de veces fuera de la residencia habitual**

El análisis de veces fuera de la residencia habitual es prácticamente idéntico al servicio de análisis de tiempo dentro y fuera de la residencia. La única diferencia radica en el repositorio que emplean.

En este caso el repositorio empleado obtiene como parámetro los mismo parámetros que el repositorio empleado para calcular el tiempo dentro y fuera de una geometría, pero en su lugar la consulta calcula las veces que se sale de esa geometría por día de tratamiento en el intervalo de tiempo y franja horaria pasados como parámetro.

La forma de procesar el resultado de la consulta es la misma que la empleada para devolver el resultado del análisis de tiempo dentro y fuera de la residencia habitual.

### **Análisis de movilidad del paciente**

El análisis de movilidad del paciente a lo largo del tratamiento se separa un poco de la línea seguida por el resto de análisis. Es el único análisis que tan sólo emplea información temporal, no emplea información espacial de ningún tipo.

El análisis depende únicamente de un repositorio. Este análisis recupera datos de la BBDD de datos de análisis en cuanto a cambios de actividad del paciente durante el tratamiento en el intervalo de tiempo y franja horaria especificados.

El resultado, al ser un resultado tabular, se recoge en un objeto de la biblioteca Pandas. Este resultado es devuelto al servicio, el cual le da un formato acorde al estándar de la plataforma para representar agregados completos no espaciales y sin dimensión temporal (no se distribuye el resultado entre los días de tratamiento, se trata de un resultado global al periodo del tratamiento).

### **Análisis de lugares importantes**

Finalmente el último análisis implementado como servicio en la plataforma, no es un análisis como tal, pero servirá como fuente de datos para otros muchos análisis de utilidad.

El servicio que implementa este análisis emplea únicamente el parámetro de identificador de tratamiento. Este identificador es pasado al repositorio el cual consulta a la BBDD de documentos Firestore por el identificador de configuración relacionado con el tratamiento en cuestión. Una vez obtenido el identificador de configuración, se recuperan los

lugares importantes incluidos en esta configuración.

Los lugares extraídos son procesados y almacenados en un objeto GeoPandas. Este objeto es devuelto al servicio el cual lo convierte a una colección de polígonos GeoJSON (un polígono por cada área de un lugar importante) y se envía como respuesta a la llamada al procedimiento.

Aunque no calcule ningún tipo de análisis, este servicio si que trata y modifica los datos recuperados de la BBDD de documentos, ya que convierte coordenadas y radios en geometrías circulares.

Con este último análisis se completa la exposición sobre los detalles de implementación de toda la herramienta en su conjunto. A lo largo de la próxima sección se presenta cómo ha sido evaluada esta herramienta desde diferentes puntos de vista.

## 6. Evaluación

Una evaluación detallada sobre cada componente interno de cada una de las herramientas software desarrolladas se escapa del alcance de este trabajo. En su lugar, a lo largo de esta sección se detallarán aquellas pruebas y evaluaciones que han sido llevadas a cabo sobre cada una de las herramientas desarrolladas, como un todo.

Para cada uno de los componentes se ha evaluado aquello que se ha considerado crítico en cada caso:

- **Aplicación móvil:** Precisión del GPS, consumo de batería y tiempo entre envíos. Se realiza una comparativa tanto entre las diferentes versiones de la aplicación, como el comportamiento de la versión final (presentada) en terminales distintos.
- **Aplicación web:** Evaluación de utilidad (cumplimiento de requisitos funcionales) y usabilidad (facilidad de uso) por parte de usuarios finales.
- **Servicios de análisis:** Evaluación de los resultados obtenidos por aquellos análisis que se consideran críticos para esta versión de la herramienta (cálculo de la residencia habitual del paciente).

### 6.1. Evaluación de la aplicación móvil

El comportamiento de la aplicación móvil ha sido comprobado empleando dos terminales distintos (ambos de gama media) reportando datos de forma continuada durante un mes completo:

1. Huawei Nexus 6P (Android 8.1). Snapdragon 810 - 8 núcleos @ 2.0 GHz. 3 GB RAM. Batería de 3450 mAh.
2. Xiaomi Mi A1 (Android 8.1). Snapdragon 625 - 8 núcleos @ 2.0 GHz. 3GB RAM. Batería de 3080 mAh.

Tal y como se indica en la Sección 5, el desarrollo de la aplicación parte de una herramienta anterior que ya poseía una funcionalidad capaz de capturar la ubicación del usuario en segundo plano.

Tras la refactorización de la herramienta original y su adaptación al nuevo dominio (recordemos que anteriormente se empleaba como prototipo de una tecnología para dar soporte a geojuegos) se decidió recolectar datos con ella antes de cambiar de proveedor de servicios de ubicación a un proveedor de servicios basado en fusión de sensores y mejorar la planificación de la tarea en segundo plano que recolecta información sobre el usuario periódicamente (cada minuto).

En la Tabla 3, se comparan ambas versiones en términos de precisión, consumo de batería y frecuencia de envío de datos. Todas las pruebas se efectuaron empleando un único terminal (1) a lo largo de 3 días (6 en total, 3 por versión).

Tabla 3: Comparativa de comportamiento de la aplicación móvil, antes y después de las mejoras aplicadas.

	<b><i>Precisión media</i></b>	<b><i>Batería consumida (diaria)</i></b>	<b><i>Tiempo medio entre envíos</i></b>
<b>Aplicación original</b>	21,95 m	23 %	7 minutos y 38 segundos
<b>Aplicación mejorada</b>	14,3 m	5 %	2 minutos y 33 segundos

La versión mejorada de la aplicación ofrece un **53,5 %** más de precisión de ubicación media, un **78 %** menos de consumo de batería diario además de una reducción del **66,6 %** del tiempo entre envíos.

Antes de presentar esta comparativa se ha indicado que el tiempo entre envíos marcado es de 1 minuto, pero en la tabla comparativa el tiempo medio entre envíos es de más de 7 minutos y medio en un caso y 2 minutos y medio en el otro caso. Esta diferencia se debe al planificador de tareas del sistema operativo Android.

En la aplicación original se empleaba un trabajo recurrente que debía ser invocado por el sistema cada minuto. El problema radica en que el sistema operativo Android a partir de su versión 6 (ambos dispositivos de pruebas poseen Android 8.1) posee un nuevo planificador de tareas mucho más agresivo que el presente en versiones anteriores, con el objetivo de mejorar la autonomía de los teléfonos. Este planificador hace que el teléfono entre en modo ahorro de energía tras estar unos minutos sin emplearse. Al entrar en el modo ahorro de energía las tareas recurrentes se planifican como mínimo cada 15 minutos.

Tras mucho experimentar se encontró una forma de salvar este escollo técnico parcialmente. Si la tarea planificada es una tarea de una única ejecución, en lugar de una tarea recurrente, el sistema tiene que cumplir con unos mínimos y ejecutar la tarea en un intervalo de tiempo lo más próximo posible al intervalo de tiempo especificado.

Aprovechando esta característica, se hace que la tarea al ejecutarse vuelva a planificarse para dentro de un minuto. De esta forma se mantiene un tiempo entre envíos próximo al minuto, tiempo más que suficiente para capturar información detallada sobre el comportamiento del paciente.

Aún con esta mejora, en determinadas ocasiones el tiempo entre envíos aumenta considerablemente, sobre todo cuando el teléfono no se ha movido durante un intervalo de tiempo considerable (por ejemplo, al estar sobre una mesa). Pero tras moverlo, la tarea se ejecuta. Esto no es necesariamente malo, ya que en un futuro se podrían calcular métricas de uso del teléfono a partir del tiempo entre los envíos de datos del mismo (para casos de adicción al uso del *smartphone*).

Contrario a lo que se podría pensar, al hacer trabajar a la aplicación de esta forma se redujo sustancialmente el consumo de batería. Por lo que se ha podido observar, planificar una tarea recurrente con un intervalo menor a 15 minutos hace que el sistema “se estrese” al intentar planificar la tarea en el tiempo indicado y esto hace que el teléfono consuma más batería.

Además de las mejoras en la planificación de la tarea de recogida de datos, también se observó una reducción del consumo de batería al emplear el proveedor de ubicación basado en fusión de sensores (junto a un incremento en la precisión). Esto es debido a que, bajo determinadas circunstancias, el nuevo proveedor tan sólo emplea datos procedentes de los sensores integrados en el teléfono (acelerómetro, giroscopio y magnetómetro) e intensidades de señal de las celdas de telefonía móvil y puntos de acceso wifi para calcular la ubicación del terminal, sin llegar a encender la unidad de ubicación integrada (GPS, Galileo, GLONASS, etc.) que tiene un consumo varios órdenes de magnitud superior a todo lo demás indicado en conjunto.

En el caso de la aplicación móvil, no se ha evaluado la interfaz gráfica ni la usabilidad de la misma ya que se considera que esta no encierra mucha complejidad más allá del proceso guiado de configuración (compuesto en el peor de los casos por 3 pasos).

Para terminar, la Tabla 4 presenta una comparativa similar a la presentada en la Tabla 3, pero empleando la última versión de la aplicación en los dos terminales de pruebas.

Tabla 4: Comparativa de comportamiento de la aplicación móvil empleando dispositivos diferentes.

	<b><i>Precisión media</i></b>	<b><i>Batería consumida (diaria)</i></b>	<b><i>Tiempo medio entre envíos</i></b>
<b>Terminal 1</b>	14,3 m	5 %	2 minutos y 33 segundos
<b>Terminal 2</b>	11,76 m	5 %	2 minutos y 1 segundo

Los porcentajes de consumo de batería se han obtenido a partir de los detalles de la aplicación que se pueden encontrar a través de los ajustes del dispositivo. Esta métrica no posee precisión decimal, por lo que seguramente los porcentajes de batería consumida por la aplicación variarán levemente en ambos dispositivos. Independientemente de esto, el valor se sitúa en torno al 5 % en ambos casos.

## **6.2. Evaluación de la aplicación web**

Para evaluar la aplicación web, se ha decidido que la mejor forma de hacerlo era convocar a profesionales de la psicología para que probasen la aplicación y valorasen tanto la utilidad como la usabilidad de la misma. Para tal fin, se ha generado un cuestionario web y se les ha brindado acceso a la aplicación.

En total han participado 3 miembros del grupo LabPsiTec todas ellas doctoras y con



experiencia tratando a un número considerable de pacientes. Con el fin de evaluar la herramienta, se les asignó una serie de tareas que cubrían tanto el caso de uso de alta de paciente y generación de una configuración como el caso de uso de evaluar el comportamiento de un paciente a partir de datos recogidos de forma sistemática empleando la aplicación móvil.

En cuanto a la evaluación de la utilidad de la herramienta, se evaluaron las siguientes categorías:

- Nivel de deseo de continuar utilizando la aplicación tras probarla
- Grado de ayuda a la hora de comprender el comportamiento de los pacientes
- Grado de ayuda a la hora de tratar a un paciente
- Grado de reducción del tiempo invertido en tratar a un paciente



Figura 33: Evaluación de la utilidad de la herramienta por un grupo de terapeutas.

Tras la evaluación, los resultados obtenidos son en cierta medida prometedores (véase la Figura 33). El **100 %** de los terapeutas encuestados quieren volver a emplear la herramienta después de probarla, el **100 %** considera que la herramienta le ayuda a comprender mejor el comportamiento de sus pacientes y el **100 %** considera que la herramienta le es útil a la hora de tratar a un paciente. En cuanto a la reducción del tiempo dedicado en tratar a un paciente gracias al empleo de la herramienta, los resultados varían. Se ha obtenido

una puntuación media de **8,67 sobre 10** en esta categoría. Esto indica que la aplicación también ahorra tiempo a los terapeutas, pero la ganancia de tiempo oscila (se trata de algo difícil de cuantificar ya que depende de muchas variables).

Tras evaluar la utilidad del sistema, otra sección del cuestionario web contenía preguntas en relación con la usabilidad del sistema. Estas preguntas son las 10 preguntas que forman parte de la System Usability Scale (SUS). Esta escala es ampliamente conocida y su precisión ha sido demostrada en más de una ocasión. SUS permite evaluar la usabilidad de un sistema o herramienta de una forma objetiva. La Figura 34 refleja las respuestas obtenidas y la puntuación final calculada en base a la SUS.

### Estudio de usabilidad de la herramienta

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	Media
Terapeuta 1	5	1	4	1	5	1	5	1	4	1	95
Terapeuta 2	5	2	3	3	5	1	5	1	3	1	82,5
Terapeuta 3	4	4	4	2	5	1	4	1	4	3	75
<b>Total</b>											<b>84,16667</b>

Figura 34: Evaluación de la usabilidad de la herramienta por un grupo de terapeutas.

La puntuación de usabilidad obtenida por el sistema es de **84,17 sobre 100**. Este valor puede resultar un tanto abstracto y no dice demasiado sobre cuán usable es la herramienta. Para solucionar esto, en la literatura pueden encontrarse comparativas que permiten calificar y dar nombre a las diferentes puntuaciones obtenidas empleando esta escala. Un ejemplo son los adjetivos definidos por Bangor, Kortum y Miller [22], los cuales pueden verse en la Figura 35.

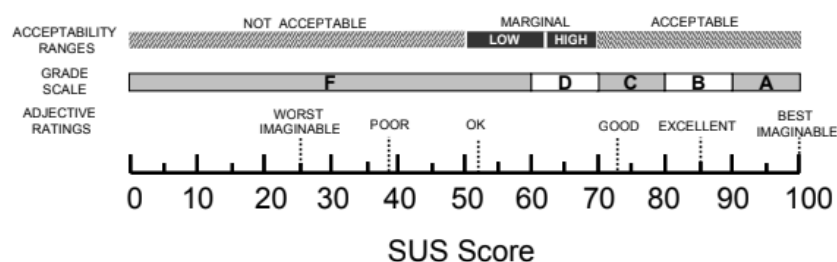


Figura 35: Adjetivos y calificaciones de las diferentes puntuaciones de la escala SUS.

Siguiendo este sistema de calificación de la escala SUS, la herramienta desarrollada tiene una calificación B en usabilidad, donde A es la mejor y se considera que la usabilidad del sistema es buena, prácticamente rozando lo excelente.

A raíz de ambos mecanismos de evaluación se puede decir que la herramienta parece ser de utilidad para los profesionales de la psicología (no se puede asegurar totalmente partiendo de los resultados de la evaluación de únicamente 3 usuarios finales) y además de esto, también parece ser usable.

A falta de más información, en un principio la herramienta desarrollada cumple con los requisitos funcionales establecidos y el requisito no funcional de facilidad de uso.

### 6.3. Evaluación de los servicios de análisis

De entre los análisis disponibles en el conjunto de servicios de análisis, aquel que encierra más complejidad es el análisis de residencia habitual.

Recordemos que este análisis toma los datos reportados por la noche (de 20:00 a 8:00) durante los 3 primeros días de tratamiento, a partir de ellos calcula las diferentes agrupaciones presentes en las coordenadas reportadas, toma la agrupación mayor y calcula la geometría circular de menor área capaz de envolver a todos los puntos de la agrupación. Esta geometría teóricamente representa el lugar de descanso del paciente por la noche.

Este proceso es un proceso similar al que sigue Google en su aplicación Maps para calcular la ubicación de la casa y el trabajo de aquellos que emplean la aplicación (o la tienen instalada en sus teléfonos al menos).

Se escogió el intervalo de 3 días a partir de un proceso de prueba y error. Valores inferiores a 3 días perdían rápidamente precisión a la hora de calcular el área del lugar de residencia correctamente y valores superiores a los 3 días involucraban a un número mayor de puntos en el análisis lo cual incrementaba considerablemente el tiempo de respuesta del análisis (el doble para 4 días).

Para valorar la precisión de la solución, se solicitó a dos usuarios distintos que dibujasen el área de su casa empleando el análisis de lugares importantes, con el fin de comparar visualmente ambas áreas (la dibujada y la calculada por el sistema). El resultado puede observarse en la Figura 36.

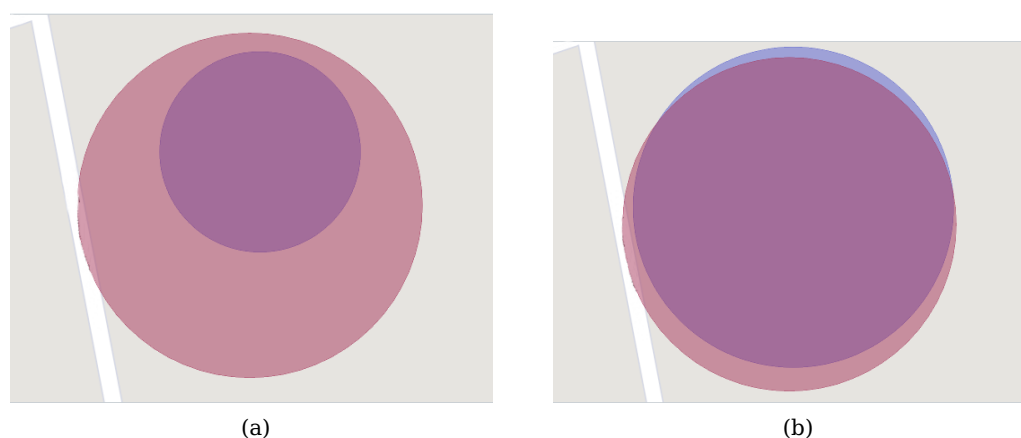


Figura 36: Comparativa del cálculo automático de la residencia habitual de un paciente: (a) residencia del usuario 1 (b) residencia del usuario 2. En rojo el área dibujada por el usuario, en azul el área calculada (púrpura al superponerse)

En la Figura 36 (b), se observa que ambas áreas (dibujada y calculada) son prácticamente idénticas y comparten casi la misma coordenada central (con poca desviación). Esto no se cumple para la Figura 36 (a), pero tiene una explicación. El usuario 2 se desplaza por la casa por la noche llevando el móvil consigo, mientras que el usuario 1, lo deja en

la habitación donde duerme (aunque se levante por la noche), de ahí la diferencia entre áreas.

Independientemente de esta diferencia, posteriormente al contrastar el resultado del análisis que calcula las veces que el usuario sale de casa con el valor real, el valor coincide con el cómputo real. Que el área no coincida exactamente no es del todo crítico, mientras el área calculada esté contenida en el área real (totalmente o casi en su totalidad), como resulta en ambos casos.

Con esto finaliza la evaluación realizada de los diferentes componentes de la plataforma. A lo largo de la próxima sección se hará un resumen del trabajo presentado hasta el momento y se expondrá brevemente el trabajo que se continuará realizando en un futuro próximo.

## 7. Conclusión

### 7.1. Resumen

A lo largo de este trabajo se ha presentado un sistema completo creado con el objetivo de ayudar a los profesionales de la psicología para que puedan dar un tratamiento más efectivo a sus pacientes. El sistema se ha diseñado desde los cimientos, de forma que dé una amplia flexibilidad a la hora de configurar un entorno adecuado para los tratamientos que los terapeutas aplican (datos que necesitan recolectar, información que necesitan extraer para poder evaluar e intervenciones oportunas en determinadas circunstancias), además de ser fácil de usar.

Esto último es algo que se ha tenido muy en cuenta a la hora de diseñar los flujos de interacción de la plataforma. Muchas veces potente es sinónimo de complejo y esto es algo que se ha querido evitar al crear este sistema. Uno de los requisitos que debía cumplir el sistema es que fuese fácil de utilizar, por ello se ha seguido un enfoque de convención por configuración (la mayoría de opciones disponibles tienen un valor por defecto), procesos automatizados de configuración (para la aplicación móvil, construidos a partir de las analíticas añadidas por los terapeutas) e interfaces limpias, amigables y modernas.

El resultado logrado incluye:

- Una aplicación móvil de recolección de datos, cuyo funcionamiento es totalmente transparente al paciente.
- Una aplicación web fácil de utilizar por terapeutas, que ofrece la posibilidad de configurar, por cada uno de sus pacientes, los análisis a realizar sobre los datos recogidos por la aplicación móvil, a la vez que es posible configurar las visualizaciones de estos mismos análisis.
- Un ecosistema de analíticas extensible y orientado a la composición a partir de bloques (resultados de análisis, repositorios de datos, etc.), el cual ofrece ya actualmente un catálogo de análisis disponibles listos para ser utilizados.
- Una herramienta de visualización (integrada en la aplicación web), con un amplio catálogo de opciones disponibles, capaz de mostrar cada una de ellas en función de la información extraída de los datos reportados por el paciente y la configuración activada en la aplicación móvil que emplea.

Por último, el sistema completo ha sido evaluado positivamente desde diferentes puntos de vista entre los cuales se incluye una evaluación realizada por profesionales de la psicología en activo que han profesado un gran interés por la herramienta, encontrándola de gran utilidad y fácil de usar.

## 7.2. Resultados y contribuciones

En síntesis este trabajo encierra varias contribuciones, estas pueden clasificarse en contribuciones de alto nivel (engloban a varios componentes de la plataforma) y bajo nivel (se centran en un único componente)

Las contribuciones de alto nivel se resumen en los siguiente puntos (entre paréntesis los objetivos que cumplen):

1. Provee la base de un sistema de generación de aplicaciones (basado en parámetros de configuración) para que los terapeutas puedan evaluar a sus pacientes e intervenirlos de una forma adecuada a su tratamiento (O2 y O3).
2. Consigue acercar el uso de las tecnologías y técnicas de análisis de datos espacial y no espacial al campo de la psicología a través de interfaces sencillos y fáciles de utilizar (O1 y O4).
3. Sienta las bases de un sistema de servicios de análisis desacoplado, flexible y ampliable, que añade dinamismo y flexibilidad a la plataforma, preparándola para su apertura a personal ajeno al proyecto en un futuro (O4 y O5).

En cuanto a las contribuciones de bajo nivel, se resumen en los siguientes puntos (entre paréntesis los objetivos y requisitos que cumplen):

### ■ **Aplicación móvil:**

- Puede ser configurada remotamente de forma que se activen o desactiven ciertas características (reporte continuo de la ubicación del paciente, registro de los cambios en su movilidad, realización de intervenciones automáticas puntuales basadas en el contexto, etc.) (O2 y O3) (RF2 y RF4).
- Su funcionamiento es totalmente transparente al paciente (RNF3 y RNF5).
- Su funcionamiento ha sido optimizado en busca de maximizar el número de envíos al tiempo que se minimiza el consumo de la batería del dispositivo (RNF3).

### ■ **Aplicación web:**

- Permite configurar la aplicación móvil a través de un proceso guiado por el resultado final esperado (la visualización de analíticas). Es decir, se activan o desactivan funciones de la aplicación móvil en función de las necesidades de visualización que tiene el terapeuta (O1 y O3) (RF4).
- Permite configurar la forma en la que se muestran las analíticas calculadas a partir de los datos reportados por los pacientes, facilitando encontrar una visualización que permita extraer más información para poder evaluar a un paciente de una manera más eficiente (O4) (RF6, RF8 y RF9).
- Permite explorar los datos enviados por un paciente, empleando analíticas previamente definidas, filtrándolos por fecha y franja horaria (O4) (RF9 y RF10).

- Permite componer la visualización de múltiples análisis espaciales bajo un único mapa, de forma que los terapeutas pueden extraer información adicional de los análisis puestos en conjunto (O4) (RF8 y RF9).
- Permite que varios pacientes empleen una misma configuración de aplicación móvil en sus dispositivos (O3) (RF7).

■ **Servicios de análisis:**

- Permiten dar de alta nuevos análisis sin pérdida de calidad de servicio en aquellos que ya se encuentran disponibles (arquitectura de microservicios desacoplada) (O5).
- Permite el acceso a múltiples fuentes de datos, con el objetivo de crear análisis ricos en información, tanto interna como externa (O4 y O5).
- Permite la composición de múltiples análisis es uno solo, permitiendo la creación de análisis de alto nivel basados en los resultados producidos por análisis más simples (por ejemplo, el análisis de tiempo dentro y fuera de la residencia habitual) (O4 y O5).
- Algunos de ellos, como el servicio de análisis de residencia habitual, permiten extraer información (espacial y no espacial) de gran utilidad, aparentemente oculta, que puede ser directamente representada (visualizada) o empleada para crear análisis de más alto nivel (por ejemplo, veces que el paciente sale de la residencia) (O4 y O5).

Para validar estas contribuciones, la plataforma en su conjunto ha sido evaluada, tanto mediante el empleo de pruebas sintéticas como por terapeutas. El resultado de ambos tipos de evaluaciones ha sido satisfactorio. En el caso de las evaluaciones realizadas por terapeutas, se ha reportado un 10/10 por todos los encuestados en 3 de las 4 categorías de utilidad consultadas y un grado de usabilidad de la herramienta cercano a lo excelente (84,17 puntos en la System Usability Scale). Ello hace que el sistema final, además de cumplir con todos los objetivos planteados, sea un sistema de calidad.

El resultado final es una plataforma que sienta las bases de un sistema futuro, mucho más grande, el cual dará soporte a un número más amplio de tratamientos, más específicos y ajustados a las necesidades de cada paciente. Los datos recuperados por el sistema encierran un gran potencial de análisis que todavía no se ha explotado, pero que poco a poco se irá explotando en un futuro a través de la relación establecida entre ambos grupos colaboradores.

### 7.3. Trabajo futuro

La plataforma desarrollada, aun siendo un producto completo constituye un producto base con un gran margen de mejora de cara a futuro. La plataforma, en su estado actual, representa el resultado de hasta dónde ha sido posible llegar en el tiempo dedicado a la

realización de este trabajo final de máster. Este trabajo se va a tomar como base para la realización de una futura tesis doctoral.

Estas son algunas de las mejoras que se incluirán en la herramienta a lo largo del doctorado:

- **Nuevos mecanismos de intervención.** Actualmente el terapeuta sólo puede comunicarse con el paciente mediante los mensajes mostrados cuando este entra en un área de interés para el tratamiento. En un futuro se añadirán nuevos mecanismos de intervención, como la posibilidad de responder a un pequeño número de preguntas o establecer una comunicación bidireccional paciente-terapeuta a través de mensajería instantánea, entre otros.
- **Visualizaciones más complejas.** Ofrecer la posibilidad de modificar los colores de las diferentes capas mostradas en los mapas, permitir ver eventos a lo largo del tiempo de una forma dinámica o poder comparar entre intervalos de tiempo son sólo algunos ejemplos de ellas.
- **Habilitar el acceso a nuevos sensores.** Dar soporte, entre otros, al acceso a sensores de ritmo cardíaco, sensores integrados en *wearables* o crear sensores personalizados que los pacientes pueden llevar a sus casas para mejorar la precisión de los datos obtenidos en interiores (tiempo en determinadas habitaciones, desplazamientos por la casa, etc.)
- **Abrir la plataforma al exterior.** Permitir a gente ajena al proyecto contribuir con nuevos análisis haciendo que el ecosistema de servicios sea más rico en diversidad de análisis disponibles.
- **Construir tratamientos a partir de síntomas.** Actualmente tan sólo pueden partir de plantillas creadas para determinados trastornos. Cada persona es diferente del resto y en este sentido también lo son las enfermedades que padecemos. Resulta complicado encontrar dos pacientes con unos síntomas idénticos para un determinado trastorno del comportamiento. Es por ello que uno de los objetivos últimos de la plataforma es poder sugerir a los terapeutas la incorporación de análisis a una configuración en base a los síntomas del paciente.

#### 7.4. Nota personal

La realización de este trabajo ha supuesto todo un reto para mí. No ha resultado sencillo poner las diferentes partes que lo componen en común y exponerlas a través de interfaces sencillas a los diferentes usuarios de la plataforma (pacientes y terapeutas).

En general estoy satisfecho con el trabajo realizado. Por supuesto como casi todo, tiene margen de mejora. Pero aún con esto creo que realmente es una contribución que puede ayudar a las personas. Por un lado, a los psicólogos, quiénes podrán hacer mejor su trabajo gracias a la ayuda en la toma de decisiones que les brinda la herramienta y por otro lado,



a los pacientes, que al poder recibir un mejor tratamiento se espera reducir su tiempo que pasan bajo terapia.

Realmente quiero continuar con este trabajo durante el doctorado, porque me ha parecido muy interesante y siempre es reconfortante saber que puedes contribuir a mejorar la vida de las personas, ya sea en su trabajo o en su día a día.

## Referencias

- [1] Manuel Armayones, Mercé Boixadós, Beni Gómez, Noemí Guillamón, and Eulàlia Hernández. Psychology 2.0: Opportunities and challenges for the psychology professional in the field of ehealth. *Papeles del Psicólogo*, 36(2):153–160, 2015.
- [2] Ai Keow Lim and Christoph Thuemmler. Opportunities and challenges of internet-based health interventions in the future internet. In *Information Technology-New Generations (ITNG), 2015 12th International Conference on*, pages 567–573. IEEE, 2015.
- [3] Miranda Olf. Mobile mental health: A challenging research agenda. *European journal of psychotraumatology*, 6(1):27882, 2015.
- [4] Justin Marley and Saeed Farooq. Mobile telephone apps in mental health practice: uses, opportunities and challenges. *BJPsych bulletin*, 39(6):288–290, 2015.
- [5] Amy M Kilbourne, Edward P Post, Mark S Bauer, John E Zeber, Laurel A Copeland, Chester B Good, and Harold Alan Pincus. Therapeutic drug and cardiovascular disease risk monitoring in patients with bipolar disorder. *Journal of affective disorders*, 102(1-3):145–151, 2007.
- [6] Matthew Fuller-Tyszkiewicz, Tanya Karvounis, Rachel Pemberton, Linda Hartley-Clark, and Ben Richardson. Determinants of depressive mood states in everyday life: An experience sampling study. *Motivation and Emotion*, 41(4):510–521, 2017.
- [7] Jenna P Tregarthen, James Lock, and Alison M Darcy. Development of a smartphone application for eating disorder self-monitoring. *International Journal of Eating Disorders*, 48(7):972–982, 2015.
- [8] Lisa H Blum, Julia Vakhrusheva, Alice Saperstein, Samira Khan, Rachel W Chang, Marie C Hansen, Vance Zemon, and David Kimhy. Depressed mood in individuals with schizophrenia: a comparison of retrospective and real-time measures. *Psychiatry research*, 227(2-3):318–323, 2015.
- [9] Gabriele Ferri, Wouter Sluis-Thiescheffer, Dries Booten, and Ben Schouten. Playful cognitive behavioral therapy apps: design concepts and tactics for engaging young patients. In *Proceedings of the The 15th International Conference on Interaction Design and Children*, pages 486–498. ACM, 2016.
- [10] Saul Shiffman, Arthur A Stone, and Michael R Hufford. Ecological momentary assessment. *Annu. Rev. Clin. Psychol.*, 4:1–32, 2008.
- [11] Kristin E Heron and Joshua M Smyth. Ecological momentary interventions: incorporating mobile technology into psychosocial and health behaviour treatments. *British journal of health psychology*, 15(1):1–39, 2010.
- [12] Ellen Frank, Janice Pong, Yashvi Asher, and Claudio N Soares. Smart phone technologies and ecological momentary data: is this the way forward on depression management and research? *Current opinion in psychiatry*, 31(1):3–6, 2018.

- [13] Rajib Rana, Margee Hume, John Reilly, Raja Jurdak, and Jeffrey Soar. Opportunistic and context-aware affect sensing on smartphones: The concept, challenges and opportunities. *arXiv preprint arXiv:1502.02796*, 2015.
- [14] Melvyn WB Zhang and Roger Ho. Enabling psychiatrists to explore the full potential of e-health. *Frontiers in psychiatry*, 6:177, 2015.
- [15] John Brooke et al. Sus-a quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194):4–7, 1996.
- [16] Xavier Benarous, Yves Edel, Angèle Consoli, Julie Brunelle, Jean-François Etter, David Cohen, and Yasser Khazaal. Ecological momentary assessment and smartphone application intervention in adolescents with substance use and comorbid severe psychiatric disorders: study protocol. *Frontiers in psychiatry*, 7:157, 2016.
- [17] Camille Vansimaey, Mathieu Zuber, Benjamin Pitrat, Claire Join-Lambert, Ruben Tamazyan, Wassim Farhat, and Catherine Bungener. Combining standard conventional measures and ecological momentary assessment of depression, anxiety and coping using smartphone application in minor stroke population: A longitudinal study protocol. *Frontiers in psychology*, 8:1172, 2017.
- [18] Imogen H Bell, Michelle H Lim, Susan L Rossell, and Neil Thomas. Ecological momentary assessment and intervention in the treatment of psychotic disorders: a systematic review. *Psychiatric Services*, 68(11):1172–1181, 2017.
- [19] Sohrab Saeb, Emily G Lattie, Stephen M Schueller, Konrad P Kording, and David C Mohr. The relationship between mobile phone location sensor data and depressive symptom severity. *PeerJ*, 4:e2537, 2016.
- [20] Carlos Ferrás, Yolanda García, Adrián Aguilera, and Álvaro Rocha. How can geography and mobile phones contribute to psychotherapy? *Journal of medical systems*, 41(6):92, 2017.
- [21] Feng Xia, Laurence T Yang, Lizhe Wang, and Alexey Vinel. Internet of things. *International Journal of Communication Systems*, 25(9):1101–1102, 2012.
- [22] Aaron Bangor, Philip Kortum, and James Miller. Determining what individual sus scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3):114–123, 2009.