

Construcción de SOMNUS, un sistema pensado para la protección y monitoreo de Sonámbulos

Narducci Pablo – Martínez Cristian – Andrade Martín – Gonzalez Diego – Cuassolo Facundo –
Universidad Nacional de La Matanza – Bs As

Resumen

El presente documento tiene como objetivo detallar tanto la problemática del Trastorno de Sonambulismo, incluyendo los peligros a los que se expone la persona que lo padece, y las causas más comunes que desencadenan el trastorno; como también presentar y explicar una alternativa que no presente las falencias de los productos existentes en el mercado, logrando un control y seguimiento de los involucrados.

En dicha alternativa, a partir de la detección del comportamiento distintivo de las personas en estado de sonambulismo, se activarán diversas medidas que proporcionarán varios niveles de seguridad, tanto física como emocional. Impidiendo el escape inconsciente de los hogares y cuartos, evitando accidentes y manteniendo comunicado al círculo de conocidos interesados en el afectado, quienes tendrán la posibilidad de indicarse como responsables directos de cada episodio en tiempo real, obteniendo permisos sobre el control del sistema en sí, y asegurando la participación personal en el cuidado de los sonámbulos.

Palabras Clave

Sonambulismo, protección, monitoreo, Arduino, detección, comportamiento.

Introducción

El trastorno de sonambulismo es aquél en el cual una persona, en medio de su ciclo de sueño, tiene un comportamiento similar al de una persona que se encuentra despierta, realizando acciones sencillas e inconscientes, pero sin tener una percepción completa del entorno en el que se encuentra.

Se estima que el 20% de la población mundial es propensa a padecer de sonambulismo, esto es, aproximadamente 1470 millones de personas que han sufrido o sufrirán de al menos un episodio a lo largo de sus vidas. Por otro lado, dentro del grupo de estudio de niños entre 11 y 16 años de edad, se demostró que hay una prevalencia del trastorno de casi un 17%. En el caso de los adultos mayores, como tienen menos sueño profundo (o fase 3, que es en la etapa en donde se inicia el trastorno más frecuentemente), la probabilidad de sufrir del trastorno disminuye. Sin embargo, dentro de las causas

que lo desencadenan se encuentran el uso de medicamentos, pastillas para dormir o trastornos mentales, lo cual indica que no están totalmente fuera de peligro.[1, 3, 4]

Peligros

Si bien se ha indicado que el comportamiento puede parecer similar al de una persona que se encuentra despierta, al menos para aquél que no se encuentra atento a detectar el trastorno, una persona en estado de sonambulismo puede sufrir o causar gran variedad de accidentes.

Considerando que el sujeto realiza acciones de manera inconsciente y sin tener una percepción aguda, éste puede chocarse contra objetos de su hogar, caerse por escaleras que no reconoció como tales, equivocarse de cuartos o confundir ventanas por puertas, utilizar electrodomésticos u otros objetos que si se los manipula de manera incorrecta pueden lastimarlo, salir de su hogar, y hasta incluso se han documentado casos de personas que han logrado conducir automóviles.

Cabe aclarar, este comportamiento fue logrado no por tener buenas capacidades motrices y entendimiento de lo que la persona estaba haciendo, sino por tener ya aprendidos y mecanizados los movimientos necesarios para ejecutar una tarea conocida.

Teniendo en cuenta esta última característica del comportamiento de los sonámbulos, fue que decidimos aprovecharla para poder detectar posibles episodios de sonambulismo.[2]

Otros Productos

Luego de adentrarnos en la problemática, y sin olvidarnos de quiénes están en mayor riesgo, fue que decidimos realizar una investigación de mercado para detectar qué productos existían que pudieran aliviar o reducir los peligros del sonambulismo.

Nos encontramos con los siguientes problemas:

-La mayor parte de los productos tenían un costo muy alto para ser asequibles por individuos particulares. Además, ninguno era recomendado o utilizado por profesionales de la salud, lo cual habría podido implicar descuentos si se los vendiese como productos médicos, y no como accesorios o artículos descartables.

-Debido a su diseño, muchos de los productos no estaban pensados para ser usados de manera sencilla por niños o ancianos, que como se detalló anteriormente, son los que se encuentran en mayor riesgo. Por ejemplo, encontramos productos que requerían a los usuarios el uso de vinchas o cascos para dormir y detectar ondas cerebrales; lo cual si bien es una alternativa más directa en cuanto a detección de episodios se refiere, presenta un alto nivel de incomodidad a quien lo usa.

Esto no solo conlleva a un uso indebido o incorrecto del producto, sino que, en el largo plazo, provoca que el usuario descarte el producto y no lo utilice en absoluto.

Finalmente, nos encontramos con que muchos productos, no tenían como objetivo lidiar con la problemática del sonambulismo de manera directa, es decir que no trataban al trastorno en sí. Por el contrario, la mayoría apuntaba a controlar el sueño de las personas a modo informativo o detectaban caídas del usuario (pensado para ancianos que puedan caerse de sus camas).

Habiendo encontrado una problemática poco explotada en lo que soluciones informáticas respecta, y teniendo en cuenta las falencias de los productos ya existentes, nos presentamos los siguientes objetivos:

-Lograr un producto sencillo de utilizar tanto para el que padece de sonambulismo como para quienes quieren estar al tanto de su estado.

-Conseguir que el sistema se pueda producir y vender a un costo más barato.

-Construir un sistema que en base a las diferencias entre los comportamientos de alguien despierto y sonámbulo pueda detectar posibles episodios de sonambulismo, y a partir de ello, implementar y activar mecanismos que aseguren su integridad, como la de aquellos que se encuentran cerca.

Detección por Comportamiento

Considerando las características y diferencias señaladas entre los comportamientos de una persona despierta y una en estado de sonambulismo, ideamos lo que denominamos Detección por Comportamiento.

Esto involucra detectar cuándo el accionar del usuario contiene señales de ser el de una persona despierta, o cuándo, por el contrario, no se obtiene respuesta ya que las capacidades de accionar del sonámbulo no le permiten responder a distintos estímulos.

SOMNUS fue diseñado para detectar episodios de la siguiente manera:

Mediante un pequeño módulo hardware que el usuario llevará colocado en la parte superior de su torso (que denominamos “pin”), detectaremos si el mismo se encuentra acostado o levantado, y el momento exacto en que esto cambie. Esto nos permitirá saber con precisión cuándo activar los mecanismos de seguridad preventivos, que serán puestos en ejecución instantáneamente cuando el pin detecte el cambio de postura de acostado a levantado.

Pero, además, está pensado para tener en consideración los tiempos del ciclo de sueño, comenzando a tener en

cuenta los cambios de postura pasado un cierto tiempo preestablecido. Es decir, que si una persona se levanta al poco tiempo de haberse acostado, las posibilidades de que se trate de un episodio de sonambulismo son nulas.

Ahora bien, cuando tenga detectado un posible episodio de sonambulismo, SOMNUS deberá definir si realmente el usuario está sonámbulo o no.

Para esto es que tomamos ventaja de aquello que un sonámbulo no puede hacer. En este caso, SOMNUS presentará mediante una aplicación Mobile, un PUZZLE o problema arbitrario en donde se le requerirá al usuario realizar una acción lo suficientemente sencilla para que le tome segundos si se encuentra despierto. Como un sonámbulo no puede leer interpretando órdenes que no tenga mecanizadas o que haya hecho anteriormente, resolver el PUZZLE se convertirá en una imposibilidad. Además, con el objetivo de impedir que la resolución pueda terminar siendo aprendida por el sonámbulo (dado que puede convertirse rutinario), esta es diseñada para tener variaciones en cada instancia, evitando falsos positivos.

El Pin

Es un dispositivo wearable conformado por una placa DoIt ESP32 Devkit V1, un acelerómetro ADXL345, un elevador de tensión MT3608, una pila 18650 y su correspondiente módulo de carga.

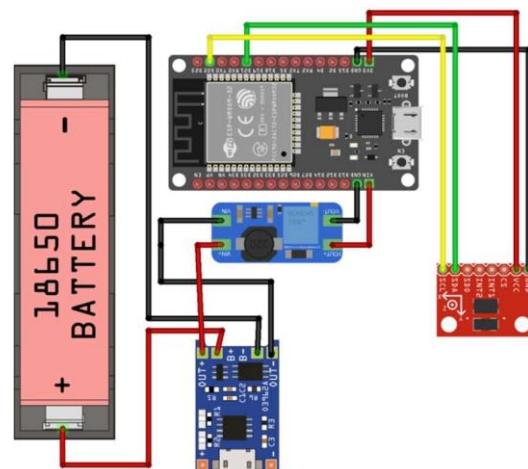


Figura1. Circuito del Pin.

Acelerómetro

El módulo utilizado es el ADXL345.

Se eligió este dispositivo para medir la aceleración dinámica como resultado de un movimiento en los ejes abscisas (x), ordenadas (y) y cotas (z).

Esto nos permite establecer los valores límites que serán utilizados para definir cuando una persona realmente se levanta, discriminando otros movimientos que provoquen aceleración (como sean giros en la cama u otros movimientos menores no importantes).

Un factor importante en su elección, fue que este modelo es de bajo consumo, necesitando una alimentación de 3,3V.

Doit ESP32 Devkit

Para el pin se eligió utilizar una placa Doit ESP32 Devkit V1, por ser una plataforma que por un bajo costo ofrece capacidades Wi-Fi y Bluetooth integradas en la misma placa.

Cuenta con un pequeño tamaño, ideal para la construcción de un pin cómodo como para que una persona lo lleve puesto mientras descansa.

Además, para su desarrollo existe una gran variedad de frameworks y lenguajes de programación. Entre ellos Arduino, que será el mismo que se usará para programar el Módulo de Seguridad.

Elevador de tensión MT3608

Se optó por un regulador de tensión comutado por sobre uno lineal debido a que presentan altos niveles de eficiencia energética (superior al 80%. Particularmente en este caso, de hasta 97%).

Los convertidores comutados convierten el voltaje mediante el almacenamiento periódico de energía de entrada y la posterior liberación de esa energía en la salida de forma que el nivel de voltaje de final es el deseado. Los convertidores DC-DC comutados con el objetivo de convertir la energía eléctrica con la máxima eficiencia poseen únicamente componentes que no presentan pérdidas, es decir, que no absorben energía.

Los componentes son básicamente de 2 tipos: comutadores y almacenadores. Los comutadores son interruptores del paso de corriente, que idealmente no presentan pérdidas por comutación, normalmente son transistores mosfet. Los componentes almacenadores son los inductores y capacitores que almacenan la energía temporalmente para luego devolverla al circuito.

El MT3608 soporta una alimentación de entrada que puede variar entre los 2 y los 24V, rango dentro del cual se encuentran los 3,7V de nuestra batería 18650, y puede regularse para entregar una tensión de salida de cualquier tensión comprendida entre los 5 y los 28V, en nuestro caso se regulará a una tensión cercana a los 9V.

Por último, otro factor determinante a la hora de elegir este elevador fue su reducido tamaño, factor que, sumado a la eficiencia, son 2 factores claves a tener en cuenta para la construcción de un dispositivo que trata de ser cómodo para su uso y que debe poseer una autonomía suficiente como para tener protegido al sonámbulo por lo menos toda una noche.

Alimentación del Pin

Un punto muy importante es cómo alimentar el pin, ya que al ser un wearable, debe estar dotado de una batería recargable, pequeña y que cuente con la suficiente capacidad como para alimentar al dispositivo una cantidad suficiente de horas.

Para ello utilizaremos una batería 18650, poseedora de una tensión de 3,7V. Debido a la necesidad de alimentar la placa con una tensión de entre de 7V y 12V constantes, se utilizará para cumplir esa labor un elevador de tensión step-up MT3608.

Gracias a sus 2200 mAh, la batería será capaz de asegurar el correcto funcionamiento del sistema durante toda una noche. También será necesario dotar al pin con un módulo de carga que nos permitirá recargar la batería para evitar que la persona necesite usar una pila nueva prácticamente cada vez que desee usar el pin.

Para ello se optó por utilizar un módulo TP4056, principalmente por ser de tamaño pequeño, contando con unas dimensiones de 25x19x10mm. Asimismo, este módulo posee un puerto micro USB, permitiendo poder cargar el pin con los mismos cargadores y cables USB que utilizan el 73% de los smartphones del mercado.

Con respecto a los voltajes de entrada, el módulo necesita entre 4 y 8V. En este caso en particular, será alimentado con cargadores convencionales de smartphone que no superan los 6 o 7V

Mecanismos de Seguridad

Ahora bien, una vez detectado un episodio de sonambulismo, se activarán los distintos mecanismos que impedirán que el usuario pueda salir de su cuarto y causar accidentes. Para ello, tenemos otro módulo hardware (denominado "Módulo de Seguridad"), el cual se encargará de bloquear físicamente la puerta del cuarto donde duerma el usuario, así como de enviar los mensajes correspondientes a la aplicación Mobile (a partir de los cuales se realizará la comunicación entre usuarios sonámbulos y usuarios asistentes, lo cual será detallado más adelante).

Para lograr dicho bloqueo, el módulo deberá ir colocado en la pared donde está instalada la puerta del cuarto, de tal manera que, al activarse, se mueva el pestillo que impide abrir la puerta

Módulo de Seguridad

El Módulo de Seguridad (a partir de ahora, MdS) es un sistema conformado por dos módulos Bluetooth, un servomotor, un cerrojo para puertas y una placa Arduino UNO.

La funcionalidad principal de éste módulo consiste en impedir la apertura de la puerta de la habitación ante un posible episodio de sonambulismo y en habilitar la apertura de la misma en caso de que la persona pueda demostrar que se encuentra despierta y lúcida o cuando un usuario asistente decida hacerlo.

A continuación, puede apreciarse el diagrama de conexión de los distintos componentes que lo conforman (excepto el sistema de alimentación).

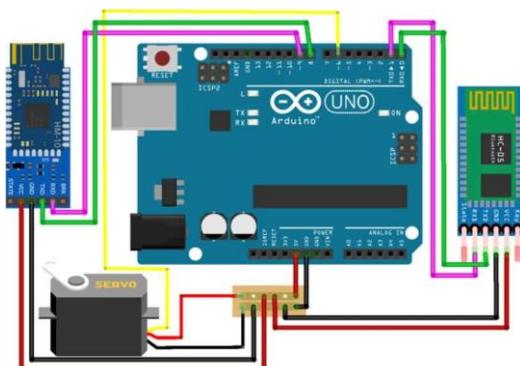


Figura2. Circuito del módulo de seguridad.

Módulos Bluetooth

Los módulos Bluetooth implementados fueron el HC-05 para la comunicación con la aplicación Mobile y el HM-10 para la comunicación con el pin.

El primero, fue elegido por su facilidad de acoplamiento con la aplicación y porque su tecnología de Bluetooth es versión 2.0, lo cual lo hace compatible con cualquier smartphone de los existentes en el mercado.

En el caso del HM-10, éste fue elegido por la facilidad de configuración tanto del dispositivo que funciona como maestro (el pin) como del dispositivo esclavo (el MdS) y, además, debido a que la tecnología de Bluetooth que utiliza (v4.0) contempla distancias de dispositivos muy superiores a las versiones anteriores, abarcando por encima de la distancia máxima que se estima que puede existir entre la persona que porta el pin y el MdS.

Otro factor importante fue el bajo consumo de corriente éste módulo, lo cual favorece el tiempo de funcionamiento que tendrá el MdS cuando se encuentre alimentado por la/s batería/s de emergencia.

Servomotor

El servomotor elegido fue el MG90S debido a su tamaño compacto y que, a diferencia del modelo que lo antecede, posee la fuerza de torque necesaria como para

manipular sin problema cualquier cerrojo que pudiéramos elegir.

Placa Arduino UNO

Para el MdS se optó por una placa Arduino UNO R3, ya que es una plataforma electrónica abierta, útil para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. La placa contiene un microcontrolador ATMega328P que brinda la capacidad de procesamiento necesaria para el correcto y eficiente funcionamiento del módulo. El lenguaje Arduino está implementado en C/C++. Además, para controlar ciertos componentes se utilizaron bibliotecas públicas desarrolladas en C++.

Alimentación del MdS

El MdS se alimenta de red eléctrica hogareña (110/220V) a través de una fuente switching que se encarga de convertir dicha tensión en los 9V que el sistema necesita. Como vía de alimentación alternativa, se posee un sistema de alimentación de emergencia para que, en caso de producirse un corte en el suministro eléctrico, el MdS siga funcionando durante unas horas, logrando evitar que se interrumpa la protección del sonámbulo. A continuación, se adjunta el esquema eléctrico:

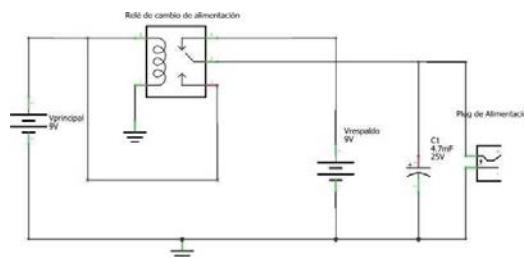


Figura3. Circuito del MdS.

Consumos de corriente del MdS:

- En reposo: 95mA
- En uso medio: 335mA
- Consumo máximo: 785mA

Debido a estos consumos es que se decidió que la fuente de alimentación regular sea de 9V y 1A, y que la fuente de alimentación de emergencia sea de entre 8 y 10V con una capacidad de entre 1600 y 3000 mAh, logrando que el sistema prosiga con su funcionamiento por, al menos, un par de horas de manera independiente.

Comunicación entre Módulos y Aplicación Mobile

Para la comunicación entre los módulos y la aplicación Mobile se decidió realizarlas por medio de Bluetooth por sobre otras alternativas ya que, además de ser más sencillo de configurar, permite no depender de ningún dispositivo adicional como podrían ser un router o un access point. A continuación, se puede apreciar el diagrama de despliegue de los distintos componentes que integran el proyecto:

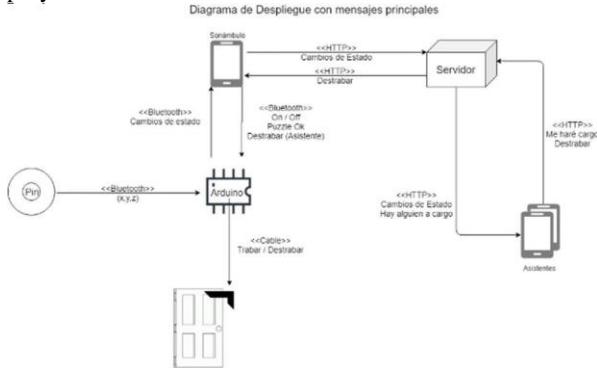


Figura4. Diagrama de despliegue con la comunicación entre los distintos dispositivos.

Esto nos trae dos grandes beneficios: tener menos componentes por los cuales el sistema pueda fallar y que, de haber fallos en el suministro eléctrico, los tres elementos centrales que componen el proyecto (el pin, el MdS y el smartphone) pueden seguir funcionando gracias a sus fuentes de alimentación independientes, lo cual evita que se pierda en algún punto la comunicación entre estos.

En lo que respecta a la comunicación entre Módulo de Seguridad y Aplicación Mobile, los mensajes que se transmiten entre sí están dirigidos a informar los cambios de estado del usuario sonámbulo, como también recibir la orden de desactivar o activar los mecanismos de seguridad según se lo requiera.

En cuanto a los mensajes entre Pin y Módulo de Seguridad, los mensajes son para corroborar una conexión adecuada entre sí, y para intercambiar los datos medidos que indicarán si el usuario se encuentra acostado o levantado.

Comunicación entre Usuarios

La aplicación cuenta con dos roles distintos; el rol de usuario Sonámbulo y el de usuario Asistente. Cada Sonámbulo puede tener (y se recomienda que tenga) varios Asistentes. Del mismo modo cada Asistente puede asistir a varios Sonámbulos.

Las asociaciones entre Sonámbulos y Asistentes se realizan como en una red social donde cualquiera de ellos puede buscar a personas que tengan el rol opuesto y

enviarles una solicitud; en caso de que esa solicitud sea aceptada, se establece la asociación. En cualquier momento tanto Sonámbulos como Asistentes tendrán la posibilidad de desasociarse.

Los Asistentes tendrán la posibilidad de conocer el estado actual de cada uno de los Sonámbulos que asista; además será notificado cuando un episodio de sonambulismo comience, finalice o sea atendido por algún otro asistente.

Por otro lado, los Asistentes podrán enviar mensajes de audio a los Sonámbulos (uno por cada asociación entre Asistente y Sonámbulo) para que el sistema los reproduzca continuamente en caso de que suceda un episodio. En estos mensajes, los Asistentes deberán intentar persuadir al Sonámbulo a que vuelva a acostarse. Este primer factor de seguridad se basa en el hecho de que los sonámbulos son influenciables si escuchan una voz conocida que les habla.



Figura5. Pantalla de control de Sonámbulos asociados para usuarios Asistentes disponible en la App Mobile.

Cuando esta medida de seguridad funciona, es decir el Sonámbulo vuelve a su cama, el sistema levantará el

estado de alerta y notificará a los Asistentes que el episodio finalizó.

Cuando los mensajes de audio no son suficientes, se requiere que algún Asistente del Sonámbulo se acerque hasta su domicilio para asistirlo personalmente. Es por esto que la aplicación Mobile brinda a los Asistentes la posibilidad de indicar que quieren hacerse responsables de un episodio. Una vez que un Asistente se indicó como responsable, la aplicación le permitirá enviar nuevos mensajes de audio, así como también desactivar los mecanismos de seguridad una vez que se halle en el domicilio del Sonámbulo.

Si más de un usuario Asistente está en condiciones de asistir al Sonámbulo; la aplicación les permitirá comunicarse entre sí para decidir quién se hará responsable.

La comunicación ocurre de la siguiente manera: el primer Asistente que decide ayudar se indica como responsable; luego un nuevo asistente ingresa con la intención de hacerse cargo, pero ve que ya hay otro Asistente asignado. Si este es el caso, la aplicación le presenta la opción de enviar un mensaje al otro Asistente indicando por qué cree estar en mejores condiciones de ayudar o simplemente comunicando la intención de hacerlo. El otro Asistente recibirá el mensaje y podrá, si así lo decide, renunciar a la responsabilidad del episodio para dejar al otro Asistente libre de tomarla.

Tanto ellos como los demás Asistentes asociados al Sonámbulo serán notificados de cualquier cambio en la responsabilidad de un episodio.

Historial

Además de estar pensado para la protección en Tiempo Real, el sistema mantiene un historial de los distintos ciclos del sueño del usuario Sonámbulo.

Es decir, SOMNUS genera reportes detallando valores tales como:

- La cantidad de episodios de sonambulismo por mes: señalando el mes con mayor cantidad.
- Cantidad de episodios a los que respondió cada usuario responsable asociado, teniendo un gráfico que permite comparar los valores fácilmente.
- Cantidad de episodios asistidos, y cantidad de posibles episodios que resultaron ser falsa alarma (es decir, que el usuario indicó de manera correcta que no se encontraba sonámbulo).

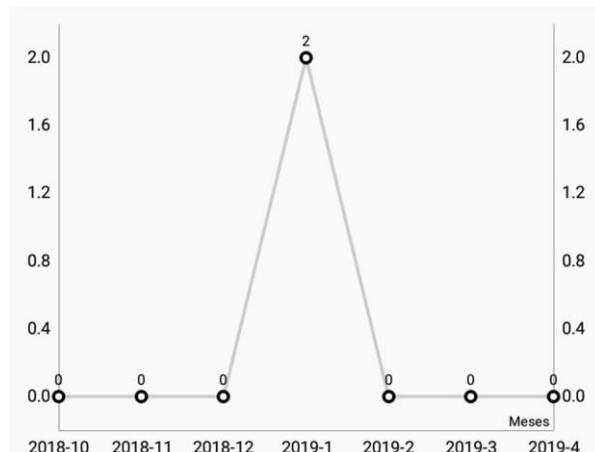


Figura6. Ejemplo de gráfica de episodios de sonambulismo por mes disponible desde la App Mobile.

Por otro lado, se mostrará información más general, como hora inicio y fin del período donde se midió si el usuario dormía, indicando las veces que el usuario se levantó en la noche y destacando aquellos períodos donde hubo un episodio de sonambulismo.

Esta información no solo será visible para el usuario tipo Sonámbulo, sino que podrá ser visualizada por los Asistentes del mismo.

Hora de inicio	Hora de fin	Despertares	¿Hubo episodios?
02/01/2019 9:00 PM	03/01/2019 7:21 AM	2	No
03/01/2019 11:11 PM	04/01/2019 9:21 AM	1	Sí
04/01/2019 8:00 PM	04/01/2019 11:21 PM	2	Sí
04/01/2019 11:05 PM	05/01/2019 6:33 AM	2	No

Figura7. Ejemplo de tabla de historial de sueño disponible desde la App Mobile.

Esto, creemos ser de mucha importancia, ya que sirve como input directo para los profesionales de la salud que quieran realizar un seguimiento con información propia del paciente que sufra del trastorno (pudiendo incluso ser el profesional uno de los asistentes).

Conclusión

Es posible crear un sistema para detectar episodios de sonambulismo, logrando que tenga alta usabilidad y sea cómodo y poco invasivo para el usuario. La clave de la alternativa SOMNUS es explotar la diferencia entre comportamientos regulares y de personas sonámbulas, permitiendo saber si la percepción del usuario es lo suficientemente veloz y lógica para corresponder a alguien que no se encuentra dormido.

Por consiguiente, consideramos a la detección por comportamiento el factor clave que hace la diferencia, siendo el comportamiento algo olvidado o ignorado en los demás productos.

Por otro lado, el flujo de comunicación y toma de responsabilidad de los usuarios asistentes consigue crear una capa extra de seguridad por encima de las medidas mecánicas del sistema, agregando el accionar humano como factor adicional; algo que no estaba presente en las alternativas que investigamos.

Referencias

- [1] https://h2g2.com/edited_entry/A880689
- [2] <https://www.spiegel.de/international/zeitgeist/lucky-escape-german-sleepwalker-steps-out-of-4th-floor-window-a-502518.html>
- [3] <https://www.sleepfoundation.org/articles/sleepwalking>
- [4] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5104520/>