

Desenvolupament d'un wearable per a monitora la salut de dones que volen quedar embarassades

Autor: Arnau Bennassar Formenti.

Enginyeria de Computadors,

FACULTAT D'INFORMÀTICA DE BARCELONA (FIB),

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (UPC) – BarcelonaTech.

Director: Dr. Ian Tan (Multimedia University, Malaysia),

Ponent: Pau Fonseca Casas (UPC, Departament d'Estadística i Investigació Operativa).

Empresa: inspiriLab.

Índex de continguts

1. Abstract.....	6
1.1. Català.....	6
1.2. Castellano.....	6
1.3. English	6
2. Context.....	7
3. Estat de l'art	8
3.1. Tractaments de la fertilitat	8
3.2. Wearables	8
3.3. Sensors i components hardware	8
3.3.1. Sensors de ritme cardíac	8
3.3.2. Sensors de temperatura	9
3.3.3. Sensors d'activitat	9
3.3.4. Comunicació amb altres dispositius	9
3.3.5. Microprocessadors.....	10
4. Descripció del projecte	11
4.1. Objectiu	11
4.1.1. Obtenció de dades.....	11
4.1.2. Comunicació de dades amb l'usuari	11
4.1.3. Centralitzar i processar les dades	11
4.2. Abast del projecte	12
4.3. Requeriments	13
4.4. Actors implicats	13
4.4.1. Desenvolupador	13
4.4.2. Dissenyador	14
4.4.3. Director	14
4.4.4. Ponent.....	14
4.4.5. Empresa.....	14
4.4.6. Usuaris i beneficiaris.....	14

4. Planificació	16
4.1. Metodologies.....	16
4.1.1. Mètodes de treball.....	16
4.1.2. Mètodes de comunicació i seguiment.....	16
4.1.3. Mètodes de validació i avaluació.....	17
4.2. Descripció de les tasques	17
4.2.1. Ideació del projecte.....	17
4.2.2. Gestió del projecte	18
4.2.3. Desenvolupament del wearable	18
4.2.4. Desenvolupament i desplegament dels servidors.....	18
4.2.5. Desenvolupament de l'aplicació	19
5. Procés d'ideació del projecte	20
5.1. Primera iteració.....	21
5.1.1. Recerca.....	21
5.1.2. Entrevistes.....	21
5.1.3. Visió	21
5.1.4. Marc de treball	21
5.1.5. Proposta de valor.....	21
5.2. Segona iteració	22
5.2.1. Recerca.....	22
5.2.2. Entrevistes.....	23
5.2.3. Visió	23
5.2.4. Marc de treball	24
5.2.5. Proposta de valor.....	24
5.3. Conclusions	24
6. Gestió del projecte	25
6.1. Gestió temporal	25
6.1.1. Temps per tasca	25
6.1.2. Dependències entre tasques	26
6.1.3. Diagrama de Gantt.....	28
6.1.4. Possibles obstacles.....	29
6.1.5. Pla d'acció	29
6.2. Gestió econòmica	30
6.2.1. Pressupost.....	30

6.2.2. Plà d'acció	33
7. Desenvolupament del wearable	34
7.1. Hardware	34
7.1.1. Components utilitzats.	34
7.1.2. Esquema del circuit.	34
7.2. Software	34
7.2.1. Obtenció de les dades	34
7.2.2. Comunicació de les dades	34
7.2.3. Optimitzacions	36
7.2.4. Diagrama de flux del software	36
8. Desenvolupament i desplegament dels servidors	37
8.1. Proveïdors	37
8.2. Arquitectura i desenvolupament.....	37
8.2.1. Cognito	38
8.2.2. API Gateway	38
8.2.3. Lambda.....	39
8.2.4. DynamoDB.....	39
8.2.5. OneSignal	40
9. Implementació de l'aplicació	41
9.1. Plataforma de desenvolupament	41
9.2. Arquitectura del software.....	41
9.2.1. Components de comunicació.....	41
9.2.2. Components de processament de les dades	41
9.2.3. Components d'emmagatzemament de les dades.....	41
9.2.4. Components d'interfície d'usuari.....	41
9.3. Interfície i experiència d'usuari	41
9.3.1. Diagrama de flux de l'aplicació	41
9.3.2. Diferències entre plataformes	41
9.3.3. Consideracions d'usabilitat.....	41
10. Avaluació dels resultats	42
11. Informe de sostenibilitat.....	43

11.1. Dimensió econòmica.....	43
11.2. Dimensió social.....	44
11.3. Dimensió ambiental.....	44
12. Conclusions	45
13. Bibliografia.....	46

Índex de taules i figures

Fórmules

Formula 1: Formules per a calcular el cost.	32
--------------------------------------------------	----

Imatges

Imatge 2: gràfica amb la relació temperatura corporal i ovulació	23
Imatge 1: Diagrama de Gantt.....	28
Imatge X: Diagrama de les comunicacions del sistema.....	38

Taules

Taula 1: Temps per tasca.	26
Taula 2: Dependències entre tasques.	27
Taula 3: Pressupost del projecte.	32
Taula 4: Taula amb les puntuacions de la sostenibilitat del TFG.	43

1. Abstract

1.1. Català

aaaaa

1.2. Castellano

bbbb

1.3. English

cccc

2. Context

En les darreres dècades la tecnologia a millorat la qualitat de la sanitat a partir d'instruments, generalment de grans dimensions, poc accessibles i ubicats als centres mèdics.

Aquests avanços tecnològics han permès desenvolupar tècniques com ara la fecundació in vitro (FIV) [1]. La FIV és una tècnica de reproducció assistida, que permet ajudar a dones i/o parelles que tenen dificultats en aconseguir assolir que la dona quedi embarassada. El mètode consisteix en fecundar un ovul al laboratori, i posteriorment introduir-lo al cos de la dona.

Tot i així, el procés de la FIV és costós, i no té una eficàcia absoluta [2]. Per aquests motius la FIV acostuma a ser l'últim recurs que fan servir les dones amb problemes per quedar-se embarassades.

Actualment, la irrupció dels *wearables* ° i l'internet de les coses (IoT, dispositius que es comunica amb altres dispositius amb o sense interacció humana) aspiren a tenir un fort impacte en el sector de la salut, ja que permetran entre altres coses, obtenir dades rellevants dels usuaris de manera constant, i comunicar-se amb els centres i sistemes mèdics de manera casi instantània [4].

Aquests *wearables* enfocats a la salut, poden evitar recórrer a mètodes dràstics com la FIV. Gràcies al seguiment constant de certes mètriques del cos humà, és possible detectar certes anomalies que podrien pa

ssar desapercebudes. D'aquesta manera és pot actuar de manera preventiva, per exemple canviant la dieta o dormint més.

3. Estat de l'art

3.1. Tractaments de la fertilitat

////////REDACTAR////////

3.2. *Wearables*

Actualment existeixen diversos *wearables* comercials capaços de monitorar la salut general d'una persona. Aquests dispositius en general serien capaços de aconseguir els objectius del projecte, és a dir, obtenir les dades de ritme cardíac, temperatura corporal i activitat física.

Aquests dispositius solen ser de propòsit general com ara l'*Apple Watch*, *MOTO360*, *SONY SMARTWATCH*, ... Però aquests dispositius no són els més indicats per a enregistrar esdeveniments del cos humà ja que a causa de les altres funcions que duen a terme tenen un elevat consum de bateria. Tots aquests dispositius disposen d'una pantalla, que permet la interacció amb l'usuari així com un processador relativament potent de manera que poden funcionar sense la necessitat de comunicar-se amb un dispositiu més potent, habitualment un *smartphone*.

Per altre banda, al mercat també hi han *wearables* que serveixen exclusivament per a enregistrar les mètriques mencionades, alguns exemples són: *Fitbit*, *Xiaomi Mi Band*, *Garmin Vivosmart 3*, ... Aquests dispositius solen tenir mètodes més discrets i rudimentaris per comunicar-se amb l'usuari com ara sistemes basats en llums led o pantalles de molt poca resolució i amb un sol color. A més disposen de poca potència de processat i és necessari comunicar les dades a un *smartphone* per tal de poder processar les dades correctament i comunicar-les a l'usuari. Tot i així, en general, aquests dispositius estan enfocats a la salut general i al seguiment de l'activitat física, no a tractar malalties o problemes específics.

////////WEARABLES ESPECIALITZATS EN CERTES MALALTIES, TRANSTORNOS, ...

////////TAULA COMPARATIVA DE WEARABLES????

3.3. Sensors i components *hardware*

3.3.1. Sensors de ritme cardíac

La majoria dels *wearables* orientats a monitorar la salut fan servir sensors òptics per a interpretar el ritme cardíac, aquesta tècnica a provat no ser gaire eficaç sobretot en condicions on l'usuari practica esport[5].

Per altre banda, existeixen alguns productes que fan ús de tècniques de electrocardiograma (ECG), aquests productes no tenen tant d'èxit comercial ja que les tècniques tradicionals d'ECG requereixen elèctrodes aprop del cor i en contacte directe amb la pell, resultant en *wearables* no tant còmodes en comparació amb els més populars que es porten al canell. Tot i així aquests productes existeixen (*Polar H7 HR*). Fora de l'entorn comercial, diferents estudis han experimentat amb maneres no convencionals de tècniques d'ECG, amb resultats molt prometedors, ja sigui fent servir tècniques de processament de senyal per aconseguir poder fer servir els sensor al canell o braç [6] o fent servir elèctrodes capaços de funcionar sense fer contacte amb la pell [7].

3.3.2. Sensors de temperatura

Pel que fa a la temperatura corporal, existeixen sensors de gran precisió i mínim consum energètic que poden enregistrar la temperatura en el rang de temperatura corporal habitual en el ser humà amb un marge d'error de $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, com és el cas del *LMT70* de *Texas Instruments*. Aquest tipus de sensor cobreix perfectament les necessitats en quant a l'enregistrament de la temperatura corporal.

3.3.3. Sensors d'activitat

Respecte a les mètriques d'activitat física, no és tant evident quin són els sensors a fer servir ja que el propi concepte d'activitat física és més abstracte que el ritme cardíac o la temperatura corporal. En general els sensors més capaços per a aquest funció són les *Unitats de Mesurament Inercial* (IMU)[8]. Tot i que normalment es fan servir en combinació d'altres sensors com el GPS. . En general els grans fabricants fan servir aquestes solucions, però cal remarcar que a diferència dels casos anteriorment descrits, per a obtenir les mètriques relacionades amb l'activitat física cal processar les dades més enllà de les tècniques habituals de processament del senyal[9][10]. Com a resultat, resulta complicat saber quines són les tècniques *software* més acurades ja que els productes més punters no són de codi obert.

3.3.4. Comunicació amb altres dispositius

Pel que fa a la comunicació del *wearable* amb altres dispositius, podem trobar clarament certs estàndards que dominen la indústria depenent de la naturalesa de la connexió. Podem distingir al menys tres escenaris diferents amb solucions diferents:

- Connexió amb cable: no hi a cap dubte que les connexions d'aquest tipus, es fan a través de la tecnologia USB.

- Connexió inalàmbrica: aquest tipus de transmissió casi sempre es fa a través de *Bluetooth*. En especial cal destacar el *Bluetooth Low Energy* (BLE), que permet establir comunicació amb una gran quantitat de dispositius amb un consum d'energia molt reduït.
- Connexió directe a internet: la connexió directe a internet té una especial rellevància en l'àmbit de l'*IoT*. Podem distingir dos maneres de connectar-se a internet, via wi-fi o via xarxes mòbils 3G o 4G. Pel que fa a la connexió wi-fi, cal destacar l'estàndard LoRa que està especialment dissenyat per l'*IoT*, i té com a principals característiques el baix consum i la gran cobertura que és capaç de proporcionar [referència: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/9/1466/htm>].

3.3.5. Microprocessadors

Els processadors d'avui en dia són capaços de fer molt amb molt poc consum. Ara bé, la potència que pot requerir un *wearable* pot variar molt: pot ser propera a la que necessita un *smartphone* o molt més senzilla, comparable per exemple amb la que necessita una rentadora. És a dir, que virtualment existeixen processadors per a qualsevol tipus de *wearable* simplement és tracta de trobar un equilibri entre potència i consum. En cas de necessitar una potència de processat molt gran, fins al punt de fer insostenible el consum energètic, la solució és delegar part de la feina a sistemes més potents com ara *smartphones* o fins i tot centres de processament de dades.

Un altre factor important és la quantitat i tipus d'interfície de las que disposa el processador per a connectar-se amb els diferents sensors i dispositius. Això no acostuma ser un problema ja que existeixen molts models de processadors amb moltes combinacions d'interfícies.

4. Descripció del projecte

4.1. Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte es dissenyar i produir un sistema capaç d'ajudar a dones amb dificultats per quedar-se embarassades a aconseguir-ho. A més, es pretén aconseguir aquest objectiu sense l'ajuda de personal especialitzat, com ara metges. És a dir, que les usuàries seràn autosuficients amb l'ajuda del sistema.

Per tal d'aconseguir aquest objectiu, s'hauran de satisfer els següents **subobjectius**:

4.1.1. Obtenció de dades

Per tal de poder fer estimacions, prediccions i recomanacions a les usuàries es indispensable disposar de certes dades de els mateixes.

A partir de la recerca realitzada respecte l'estat de l'art de (**FERTILITAT DONES**) s'ha determinat que les mètriques més rellevants i les que s'obtenen són: la temperatura corporal, el ritme cardíac, els períodes en que les usuàries dormen i el nivell d'activitat física.

Per tal d'aconseguir aquestes dades es desenvolupa un wearable, que l'usuària pot portar de manera continuada, equipat amb sensors suficients per obtenir les dades anteriorment descrites.

4.1.2. Comunicació de dades amb l'usuari

Un cop disposem de certa informació útil, aquesta s'ha de comunicar a l'usuària. Per tal de que aquesta pugui percebre la informació adquirida i generada pel sistema, es desenvolupa una aplicació mòbil. Així doncs, aquest *software* ha de ser capaç de obtenir les dades i informació del *wearable* i també de fonts externes provinents d'internet per tal d'ensenyar-les de forma gràfica a l'usuària.

Aquesta aplicació ha de ser fàcil de fer servir, i capaç de funcionar en un gran nombre de dispositius per tal de poder tenir una major acollida.

4.1.3. Centralitzar i processar les dades

Per tal d'obtenir i generar informació més útil, és centralitzen totes les dades obtingudes de les diferents usuàries del sistema. D'aquesta manera es poden analitzar les dades de manera global. Un cop aquestes dades són analitzades també es comuniquen a les usuàries.

L'aplicació mòbil és la encarregada de transferir les dades a un sistema central o servidor, i també de recollir-ne els resultats un cop analitzats. A més, l'aplicació mòbil és la responsable de processar les dades enviades pel *wearable* abans d'enviar-les al sistema centralitzat. D'aquesta manera es redueix la carga de treball del servidor, resultant en un sistema més distribuït i eficient en termes econòmics, ja que la potència de processat dels dispositius mòbils la proporcionen les usuàries.

A més el fet de centralitzar les dades té com a objectiu fer-les accessibles de manera remota i persistent. Això pot resultar molt útil, per exemple, en cas que una usuària perdi el dispositiu mòbil amb el que fa servir l'aplicació.

4.2. Abast del projecte

Aquest projecte fa èmfasis en l'obtenció, la visualització i la transmissió de les dades obtingudes de les usuàries. Per tant es desenvolupa un prototip funcional del *wearable*, una aplicació capaç de comunicar-se amb el *wearable* i amb el servidor i que a més pot ensenyar la informació rellevant a les usuàries. També es desenvolupa un servidor capaç d'emmagatzemar les dades i gestionar les usuàries.

Aquestes funcionalitats formen el projecte, i el seu desenvolupament es documenta en les següents pàgines d'aquesta memòria. Queden fora d'aquesta d'aquest projecte, i es desenvoluparan en cas de que el projecte tingui continuïtat les següents funcionalitats:

- Processat i abstracció de les dades obtingudes respecte l'activitat física: tal i com s'expressa en l'estat de l'art, convertir les dades obtingudes per un sensor IMU en conceptes com ara salts, passes, o metres correguts pot ser molt complicat. Per això l'activitat física s'expressa de forma més simple. Per exemple en quantitat de moviment.
- Processat de les dades centralitzades per tal d'obtenir informació útil a partir d'analitzar les dades de forma conjunta: el sistema que es desenvolupa, deixa oberta la possibilitat d'implementar aquesta funcionalitat amb relativa facilitat al disposar de les dades centralitzades. Tot i així per poder dur a terme aquesta funció es necessita un volum de dades que no es tindrà fins que el producte es comercialitzi amb èxit. Per tant aquesta part del desenvolupament tampoc es realitzarà en aquest projecte.
- Prototip formal del *wearable*: el projecte només contempla la funcionalitat del *wearable*, és a dir que es produeix un dispositiu suficient per demostrar que pot recollir les dades necessàries de manera efectiva. Així doncs queda fora de l'abast dissenyar un prototip que faci referència a la estètica i la usabilitat del *wearable*.

4.3. Requeriments

Per tal d'avaluar el projecte a continuació es determinen uns requeriments que s'han d'assolir per considerar que el projecte s'ha desenvolupat satisfactòriament. Aquests requeriments han de ser tangibles i han de poder ser fàcilment emmarcats com a assolits o no assolits. Els requeriments són els següents:

- Integrar els components necessaris per tal d'enregistrar l'activitat física, el ritme cardíac i la temperatura corporal en un microprocessador.
- Desenvolupar un medi de comunicació pel qual el microprocessador pot transmetre les dades adquirides a altres dispositius.
- Desenvolupar una aplicació mòbil capaç de rebre les dades transmeses pel microprocessador.
- Programar un algoritme que interpreta correctament les dades rebudes a l'aplicació mòbil.
- Dissenyar i implementa una interfície d'usuari que mostra a l'usuari la informació rellevant generada pel sistema.
- Desplegar un servidor capaç de rebre i emmagatzemar dades enviades per les usuàries.
- Desenvolupar un medi de comunicació pel qual el servidor pot enviar informació a les usuàries.

4.4. Actors implicats

Aquest projecte s'ha desenvolupat en un marc bastant semblant a un projecte d'empresa: iniciat conjuntament amb una *start-up*, ha comptat amb la participació de tota una serie de persones, ja sigui directament o indirectament. Des del desenvolupador, fins als que en trauran un profit al final, els beneficiaris. Això ha afegit major complexitat al mateix, però ha resultat molt enriquidor. A continuació, hi ha un explicació de quins són aquests actors implicats.

4.4.1. Desenvolupador

Aquesta persona és la més activa del projecte, ja que és l'encarregada de desenvolupar-lo íntegrament. No només s'encarrega de la part tècnica, és a dir, d'implementar el *hardware* i el *software*, sinó que també s'encarrega de realitzar tota la part de gestió del projecte, redactar la memòria i preparar i fer la presentació. Aquest rol el dur a terme l'estudiant d'enginyeria informàtica Arnau Bennassar.

4.4.2. Dissenyador

Per tal de complementar les habilitats del desenvolupador, el projecte conta amb la participació del dissenyador Oriol Casademont. La funció d'aquest és la de dissenyar la UI/UX (interfície d'usuari / experiència d'usuari) de l'aplicació mòbil, així com ajudar en el procés d'ideació del producte compartint la seva experiència en tècniques com ara el *Design Thinking* (més informació al capítol [3.6](#) Mètodes de treball).

4.4.3. Director

El rol del director és guiar i orientar al desenvolupador en la seva tasca, així com assegura un correcte desenvolupament i, en cas de un possible desviament, corregir-lo el més aviat possible. El Doctor Ian Tan, *Chief Technological Advisor* (CTA) de la empresa i professor de la *Multimedia University* (MMU) ocupa la posició de director del projecte. La seva llarga experiència en el desenvolupament tant de *hardware* com de *software*, i la gestió de diferents empreses que ell mateix a fundat, fan que sigui una persona excel·lent per a la posició

4.4.4. Ponent

El rol de ponent està representat pel Doctor i professor de la FIB Pau Fonseca i Casas. La funció d'aquest es la d'assessorar al director, assegurant-se que el projecte compleixi les especificacions i normatives marcades per la FIB. El doctor Fonseca també és ideal pel rol ja que està vinculat a la FIB i té experiència en el camp dels *wearables*.

4.4.5. Empresa

Aquest projecte es desenvolupa a la empresa *InspiriLab* amb seu a Kuala Lumpur, Malasia. La empresa proporciona les seves instal·lacions així com suport en aspectes on el desenvolupador no tingui tanta experiència com la gestió del projecte. En aquest sentit es destaca el fet d'haver posat en contacte el desenvolupador i el dissenyador.

4.4.6. Usuaris i beneficiaris

Finalment existeix un grup de persones que poden ser potencials beneficiaris del resultat del projecte. La manera en que aquest col·lectiu es veurà beneficiat dependrà

del resultat final del projecte. En cas d'èxit, s'hauria de veure augmentat el rati d'embarassos per intent de les usuàries del sistema.

4. Planificació

4.1. Metodologies

4.1.1. Mètodes de treball

Per tal de dur a terme aquest treball i degut a la varietat de perfils i etapes del projecte, es fan servir dues metodologies diferents:

- *Design thinking*: aquesta metodologia es fa servir en la etapa de ideació i disseny del projecte. Ja que aquesta etapa és de caire més creatiu fa falta un mètode diferent per afrontar-la. *Design thinking* [REFERENCIA] consisteix en un seguit de tècniques per tal de definir i idear un producte o servei. És tracta d'un procés iteratiu que es va repetint fins al final del desenvolupament del projecte per tal d'anar-lo perfeccionant. Algunes de les tècniques que es fan servir són la de empatitzar amb possibles usuaris per detectar coses que els incomoden o que els fan falta, entrevistar a experts, ...

Per a aquest projecte aquest mètode s'ha abandonat un cop es va trobar una proposta de valor[REFERENCIA] convincent i justificada que podia encaixar de manera realista al mercat.

- *Scrum*: aquesta metodologia es fa servir en totes les etapes del projecte amb l'objectiu de respectar les dates establertes en la planificació temporal, i poder detectar desviacions i complicacions abans de que suposin un greu problema. *Scrum* [11] consisteix en un mètode de treball en el qual es defineixen un seguit de tasques i a cada tasca se li assigna un temps estimat per a completar-la. De manera periòdica es fa un seguiment per determinar si las tasques s'han completat amb èxit, i es revisen les tasques pendents i actuals per tal de que el projecte es mantingui viable.

En aquesta metodologia existeixen un seguit de rols que no s'aplicaran en aquest projecte ja que l'equip que el desenvolupa és molt petit i no és necessària una coordinació tant gran.

4.1.2. Mètodes de comunicació i seguiment

Per tal de dur a terme el seguiment, s'incorporaran les següents eines TIC:

- *Google Drive*: per a compartir i editar en temps real els documents del projecte.
- *Google Calendar*: per concretar esdeveniments i fixar dates limit
- *GitHub*: Per compartir i mantenir el codi.

Mitjançant aquestes eines és possible establir una comunicació tant directa com indirecta amb el director i el ponent del projecte. De fet, ambdós tenen accés practicament en temps real de tot el contingut del projecte excepte del hardware. Però fins i tot aquest últim estarà representat en forma de representació gràfica a *Google Drive*.

4.1.3. Mètodes de validació i avaluació

A mesura que el projecte vagi superant les diferents etapes aquestes s'avaluaran, cada una de les etapes s'haurà de superar amb un mínim d'èxit per a poder procedir a la següent. A part d'aquest mínim, també existeix una avaluació més qualitativa, que fa referència especialment a la precisió de les dades aconseguides.

En finalitzar el projecte es comprovarà si s'han assolit els requeriments mencionats a l'apartat **1.4.3**.

/////TEMPS VERBALS!!!!!!

4.2. Descripció de les tasques

En aquest apartat es dona una descripció detallada de les diferents tasques que conformen el projecte i els recursos necessaris per dur a terme cada tasca. Estan ordenades cronològicament per ordre d'execució. Totes les tasques comparteixen certs recursos com ara: el desenvolupador, un portàtil, connexió a internet, i *software* bàsic com ara un navegador d'internet o un editor de text. Aquests recursos comuns no s'especifiquen en cada tasca. A continuació es descriuen les tasques:

4.2.1. Ideació del projecte

Aquesta tasca consisteix en definir el producte que es vol desenvolupar. La definició resultant del treball dut a terme en aquesta tasca ha de donar lloc a un producte que en cas de desenvolupar-se amb èxit tingui viabilitat comercial, ja sigui perquè millora un producte existent o resol un problema d'un determinat col·lectiu. Aquesta tasca conta amb la col·laboració del dissenyador del projecte.

Recursos *hardware*:

- Una micròfon capaç de gravar veu.

Recursos *software*:

- *Google Docs*: editar els diferents documents.
- *Google Drive*: emmagatzema els diferents components.

4.2.2. Gestió del projecte

En aquesta tasca es realitzen les estimacions econòmiques i temporals del projecte. El propòsit es assegurar la viabilitat d'aquest definint un pla d'acció que respongui davant dels possibles problemes.

Recursos *software*:

- *Google Docs*: editar els diferents documents.
- *Google Drive*: emmagatzema els diferents components.
- *Ganttter*: crear el diagrama de *Gantt*.
- el Racó de la FIB: gestió administrativa del TFG
- l'Atenea de la UPC: gestió de les diferents entregues i el *feedback* del professor.

4.2.3. Desenvolupament del *wearable*

El propòsit d'aquesta tasca és fer una recerca de quins son els sensors més adequats, adquirir-los i connectar-los els a un microprocessador mitjançant una placa de desenvolupament o *breadboard*. Un cop el circuit estigui a punt, desenvolupar el codi del microprocessador per tal de llegir les dades obtingudes pels sensors i enviar-les a través del mòdul de comunicació.

Recursos *hardware*:

- Microprocessador: encarregat de gestionar els diferents sensors.
- Sensors: permeten obtenir informació de diferents constants de salut.
- Placa *breadboard*: permet integrar els components *hardware* sense soldar.
- Cables, resistències i altres components electrònics bàsics.
- Mòdul *Bluetooth*: necessari per transmetre les dades des del *wearable*.

Recursos *software*:

- Arduino IDE: entorn per desenvolupar el *software* del microprocessador.

4.2.4. Desenvolupament i desplegament dels servidors

El propòsit d'aquesta tasca és decidir una plataforma per a desenvolupar el *backend*. A continuació crear una base de dades capaç d'ingerir totes les dades generades per les diferents usuàries. Un cop estigui funcional, el servidor ha de ser accessible des de qualsevol lloc mitjançant internet. A més també s'ha de desenvolupar un sistema de notifikacions per tal de poder enviar informació a les usuàries sense que elles ho requereixin des del servidor.

Recursos *hardware*: -

- Servidor(s): Tot i que aquests recursos no són físicament accessibles per als integrants del projecte, s'hi accedeix de forma remota.

Recursos *software*:

- Atom: editor de codi.
- MySQL: base de dades.
- Postman: realitza peticions HTTP per debugar APIs.

4.2.5. Desenvolupament de l'aplicació

Aquesta etapa consisteix en desenvolupar l'aplicació del sistema. El primer pas consisteix en elegir una plataforma de programació que permeti crear aplicacions per a dispositius mòbils. A més de desenvolupar la interfície d'usuari, s'ha de establir la comunicació tant amb el *wearable* com amb el servidor i tractar les dades enviades pel *wearable* ja que aquest les envia sense processar o molt poc tractades. En aquesta tasca també participarà el dissenyador, amb la funció de dissenyar la part gràfica de l'aplicació per a que després la implementi el desenvolupador.

Recursos *hardware*:

- Smartphone: encarregat de part del processament, la transmissió de les dades al servidor i naturalment, de mostrar les dades a les usuàries.

Recursos *software*:

- Atom: editor de codi.
- SDKs: conjunt de *software* necessari per tal de poder exportar aplicacions i ser executades a les diferents plataformes destí tals com *Android* i *iOS*.

5. Procés d'ideació del projecte

Aquesta tasca és el punt de partida del projecte, que es dóna amb l'encarreg de la empresa *Inspirilab* de desenvolupar un *wearable* per a ajudar al procés de la FIV.

Per a desenvolupar aquesta tasca es segueix el mètode *design thinking*. Aquest mètode pot executar-se de moltes maneres diferents segons les necessitats del projecte i el criteri dels qui el duen a terme. Per a aquest projecte s'han seguit les següents etapes:

- Recerca: es fa una investigació del camp en el qual és desenvolupa el producte o servei.
- Entrevistes: s'entrevisten a persones especialitzades en la matèria o usuaris del potencial producte o servei.
- Visió: s'analitza la informació obtinguda en la recerca i especialment en les entrevistes. En particular, les entrevistes s'analitzen amb el següent procediment: Es seleccionen les frases interessants, i a cada frase seleccionada se li fan les següents preguntes:
 - Què ha dit?
 - Què pensava realment?
 - Què fa al respecte del que ha dit, com reacciona davant de la situació esmentada?
 - Com se sent al respecte del que fa?

Un cop analitzada la informació s'intenta detectar quines coses resulten incòmodes, i quines agradables per als potencials usuaris i com es poden resoldre.

- Marc de treball: Un cop tenim una visió contrastada, es defineixen els objectius i límits del projecte, és a dir, que s'ha d'intentar resoldre o millorar i com i que no.
- Proposta de valor: es fa una definició del producte o servei a desenvolupar. Aquesta definició va canviant durant el transcurs del projecte, i a mida que aquest avança, la proposta de valor cada cop és més precisa i concreta.

Com ja s'ha mencionat, aquest mètode és iteratiu. En el cas d'aquest projecte es realitzen dues iteracions. A l'apèndix del projecte es pot trobar l'informe presentat a la empresa on apareixen les preguntes i respostes més rellevants de les entrevistes, juntament amb els resultats de la resta d'etapes. A l'informe s'hi troba el resultat de les dues iteracions combinades. A continuació es fa un breu resum del procés i resultat de les diferents etapes a cada iteració.

5.1. Primera iteració

5.1.1. Recerca

En aquesta primera iteració en la recerca s'estudien conceptes generals de la fertilitat humana, així com de la tècnica FIV en particular. La informació que s'en treu resulta útil per a poder realitzar amb èxit les següents etapes del procés de *design thinking*. Els resultats d'aquesta recerca ja s'han explicat a la memòria i també apareixen a l'apèndix, per aquest motiu s'exclouen d'aquest punt.

5.1.2. Entrevistes

En aquesta iteració s'entrevista a *****NAMES*****

5.1.3. Visió

Després d'avaluar les dos primeres etapes s'arriba a les següents conclusions:

- Només els casos més crítics procedeixen a realitzar FIV, és una tècnica que s'utilitza com a últim recurs a causa de la complexitat i el cost de la mateixa.
- Els procediments per a la FIV requereixen de complexes tècniques i dispositius que són cars i reutilitzables.
- És pràcticament impossible realitzar el procediment fora d'un centre mèdic. Fins i tot el seguiment previ al procés a causa del cost dels aparells necessaris per a dur a terme tal tasca.

5.1.4. Marc de treball

La visió que resulta de les etapes anteriors ens fa veure que no és viable desenvolupar un dispositiu per a ajudar a la FIV. Per tant es necessari pivotar el propòsit del projecte per tal de poder desenvolupar un producte viable. Així doncs el límit del projecte es troba en el pont on les potencials usuàries tenen que recórrer a la tècnica de FIV.

5.1.5. Proposta de valor

Desenvolupar un sistema que permeti a les usuàries augmentar les possibilitats de quedar-se embarassades sense recórrer a la FIV.

5.2. Segona iteració

5.2.1. Recerca

En la segona iteració la recerca es centre en quins són els factors que influeixen en la fertilitat de les dones i quines pràctiques es poden dur a terme per a augmentar-la.

D'aquesta recerca s'en destaca el següent:

- Existeixen evidències que certes factors com ara l'alimentació, l'exercici, les hores que es dormen, l'estres i d'altres tenen cert impacte amb la fertilitat. Malgrat les evidències, no s'ha pogut comprovar de manera rigorosament científica ja que existeixen multitud de factors que poden alterar potencialment la fertilitat, i es difícil establir quins d'aquests són realment els responsables **[REFRENCIES!!!!]**.
- Abans de la ovulació el cos de la dona té una temperatura corporal d'entre 36,11 C° i 36.5 C° mentre aquesta està en la fase rem del son. A més, la temperatura corporal durant la fase rem del son segueix el següent patró, que reflexa les diferents fases del cicle menstrual**[REFRENCIES!!!!]** <https://www.babycenter.com/chart-basal-body-temperature-and-cervical-mucus> https://www.babycenter.com/0_sample-bbt-chart_7252.bc https://www.babycenter.com/0_ovulation-predictor-kits-vs-charting-pros-and-cons_7059.bc

]:

- Existeix una relació entre la temperatura corporal durant la fase rem del son i el període d'ovulació de les dones.
- Les usuàries són incapaces d'enregistrar-se la temperatura corporal sense l'ajuda d'alguna altre persona ja que l'enregistrament ha de tenir lloc mentre la usuària dorm.

5.2.4. Marc de treball

Com que les usuàries més crítiques s'atenen als centres mèdics amb eines que només estan a l'abast de centres especialitzats, no considerem la possibilitat d'ajudar al procés de FIV. En canvi, ajudem a les usuàries a esdevenir més fèrtils per evitar el procés.

Per a fer-ho s'ha de desenvolupar un dispositiu que actui de manera ininterrompuda i que sigui capaç d'enregistrar les hores en que les usuàries dormen, la quantitat d'exercici diari que realitzen i la seva temperatura corporal durant la fase rem del son.

Aquest dispositiu ha d'estar acompanyat d'un sistema que per una banda processi les dades i per una altra les comuniqui a les usuàries de manera efectiva.

5.2.5. Proposta de valor

Sistema que enregistra diverses mètriques de l'activitat diària de dones que volen quedar-se embarassades per tal de deduir i fer li's saber quin és el moment de màxima fertilitat i que poden fer per ser més fèrtils.

Les mètriques en qüestió són: la temperatura corporal, les hores en que es dorm, la temperatura corporal durant la fase rem del son i l'activitat física.

El sistema està format per un *wearable* responsable d'enregistrar la temperatura corporal, el ritme cardíac i la quantitat de moviment. Les dades obtingudes es comuniquen a un *smartphone* que les processa fent servir una aplicació dedicada per tal d'abstreure el valor de les mètriques mencionades. A més la aplicació envia les dades a un servidor que analitza de forma col·lectiva les dades de totes les usuàries per tal de discernir quines mètriques són més rellevants i quins consells més efectius.

Tota la informació generada es notificada a les usuàries mitjançant la aplicació del mòbil.

5.3. Conclusions

El procés de *design thinking* ha donat com a resultat una idea que pot aportar una millora a una situació que costa temps i diners a un col·lectiu determinat. Aquesta idea però no es tracta del projecte tal i com s'ha descrit. Això és així ja que aquest projecte té certes limitacions temporals i econòmiques. Per tal d'adaptar la idea perquè respecti les limitacions, s'ha dut a terme la gestió del projecte.

6. Gestió del projecte

6.1. Gestió temporal

A causa de l'entorn de treball la estimació temporal del projecte ha canviat durant el transcurs d'aquest. A banda dels imprevistos, i la estimació no perfecte del temps assignat per tasca, hi a hagut dos punts on la estimació temporal ha canviat dràsticament. El primer té lloc quan la empresa on es desenvolupa el projecte decideix dedicar més hores setmanals al projecte. La segona, es el resultat d'allargar el contracte del desenvolupador fent impossible que el treball es pugui presentar a la data inicialment prevista i per tant donant molt més temps per a desenvolupar el projecte. A continuació es mostra l'estimació temporal més recent i definitiva. Les dades pertinents a les anteriors planificacions es poden trobar a l'apèndix.

6.1.1. Temps per tasca

////CANVIAR LES TAULES PER LES DEFINITIVES

Tasca	Hores	Dies (aproximadament, només laborals)
Gestió del projecte	75	9
Abast del projecte	9.25	1
Planificació temporal	8.25	1
Gestió econòmica i sostenibilitat	9.25	1
Presentació preliminar	6.25	1
Contextualització i bibliografia	15.25	2
Plec de condicions	8.5	1
Presentació oral i document	18.25	2
Iniciació del projecte	14	3
Recerca de components adequats	12	2
Adquisició de components	2	1
Prototip del hardware	24	3
Integrar els components	16	2
Obtenir dades dels sensors	8	1

Comunicació wearable - smartphone - servidor	120	16
Desenvolupa aplicació Android	24	3
Enviar dades del wearable a l'aplicació Android	16	2
Emmagatzema les dades al dispositiu Android	8	1
Tractament de les dades al dispositiu Android	48	6
Crear base de dades al servidor	16	3
Comunicació Android - servidor	8	1
Total	233	31

Taula 1: Temps per tasca.

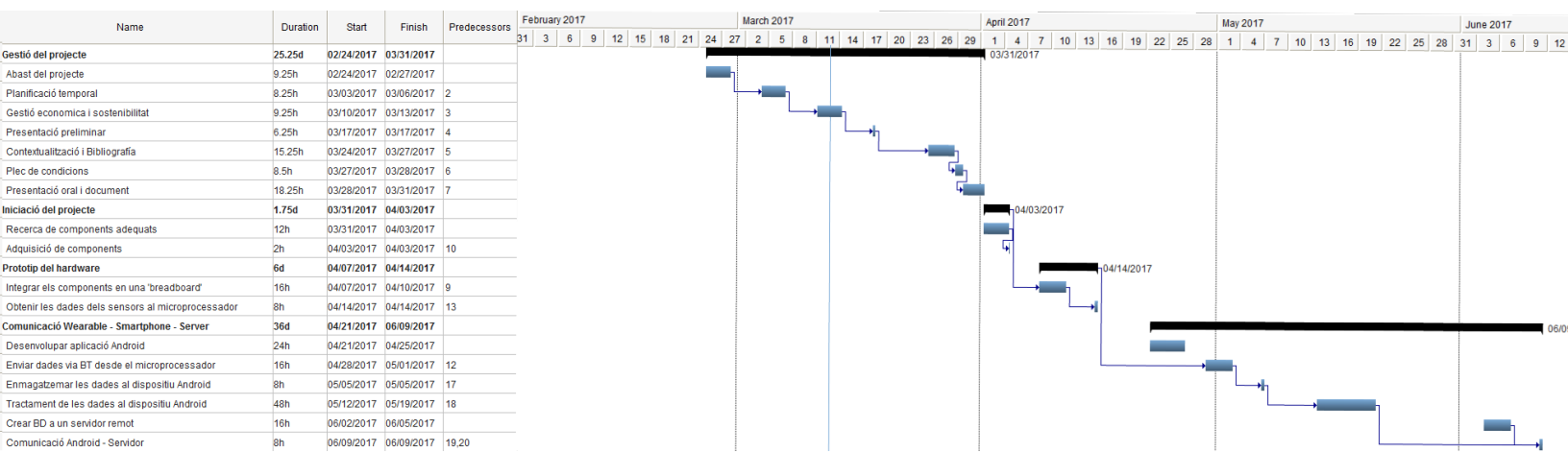
6.1.2. Dependències entre tasques

Tasca	Dependència amb
Gestió del projecte	-
Abast del projecte	-
Planificació temporal	Abast del projecte
Gestió econòmica i sostenibilitat	Planificació temporal
Presentació preliminar	Gestió econòmica i sostenibilitat
Contextualització i bibliografia	Presentació preliminar
Plec de condicions	Contextualització i bibliografia
Presentació oral i document	Plec de condicions
Iniciació del projecte	-
Recerca de components adequats	-
Adquisició de components	Recerca de components adequats
Prototip del hardware	Iniciació del projecte
Integrar els components	Adquisició de components
Obtenir dades dels sensors	Integrar els components
Comunicació wearable - smartphone - servidor	Prototip del hardware
Desenvolupa aplicació Android	-
Enviar dades del wearable a l'aplicació Android	Obtenir dades dels sensors

Emmagatzema les dades al dispositiu Android	Enviar dades del wearable a l'aplicació Android
Tractament de les dades al dispositiu Android	Emmagatzema les dades al dispositiu Android
Crear base de dades al servidor	-
Comunicació Android - servidor	Tractament de les dades al dispositiu Android

Taula 2: Dependències entre tasques.

6.1.3. Diagrama de Gantt



Imatge 1: Diagrama de Gantt

6.1.4. Possibles obstacles

En el transcurs del projecte poden produir-se certs riscos derivats de l'ús d'eines *hardware* o *software*. Per a cada un d'aquests riscos, s'intenta donar una solució satisfactòria i eficient. Els potencials riscos s'exposen a continuació:

- Dificultats en aconseguir components: durant el procés de desenvolupament s'adquireixen determinats sensors. Existeix la possibilitat de que obtenir aquests sensors sigui complicat o bé per motius econòmics, o bé per motius de disponibilitat i accessibilitat als mateixos. Aquest potencial obstacle pot ser el més complicat de resoldre ja que és tractaria d'un problema totalment extern.
- Comportament inesperat dels components: un cop adquirits els sensors es pot donar el cas de que aquests no es comportin com s'esperava. Això pot ser causat per diferents motius: els components són defectuosos, la qualitat d'aquest es inferior a la que es pretenia, la complexitat per utilitzar-los es major a la esperada, ...
- Dificultat d'interpretació de les dades dels sensors: el tractament de les dades rebudes pels sensors pot ser realment complicat, especialment respecte al que fa a l'enregistrament de la activitat física utilitzant IMUs.

6.1.5. Pla d'acció

Probablement durant el projecte es produiran desviacions respecte a l'estimació temporal, ja que a priori és difícil predir el nombre d'hores que es dedicaran a cada tasca. Però el fet d'aplicar una metodologia Scrum durant el desenvolupament del projecte, permet controlar les possibles desviacions, és a dir, que una tasca no duri el temps planificat. Això és degut a que Scrum és un mètode dinàmic, i per tant, a mesura que avança el projecte, es pot revisar i adaptar la planificació inicial. El passos a seguir en una eventual desviació són els següents:

- Si una tasca dura menys del planificat no és cap problema, es comença la següent.
- Si una tasca dura més del planificat, s'allarga i es comença la següent més tard. Ara bé, si aquest retràs és molt significatiu, o inclús pot ser perjudicial per a la finalització del projecte, es reduirà el temps assignat al tractament de les dades a l'*smartphone*, ja que aquesta és la tasca més complexa, i no és competència de la especialitat que emmarca aquest projecte.

Adicionalment, s'han planificat un seguit d'accions per reaccionar correctament davant els possibles obstacles mencionats prèviament:

- Dificultats en aconseguir components: optar per altres sensors potencialment no tant adequats com els escollits en primera instància.
- Comportament inesperat dels components: obtenir diferents sensors o en cas de que aquests siguin defectuosos, obtenir-ne de nous. Una mesura preventiva a aquest

possible problema, seria obtenir més sensors dels que es necessiten per si algun no estigues en condicions adequades.

- Dificultat d'interpretació de les dades dels sensors: utilitzar *software* propietari o simplificar l'abstracció del concepte activitat

Aquestes possibles desviacions no afectarien als recursos assignats. Per altra banda, es realitzaran reunions periòdiques per a dur un control del projecte i de la seva planificació. Es pot concloure que és una planificació que assegura la finalització del projecte en el temps establert.

6.2. Gestió econòmica

6.2.1. Pressupost

A partir de la planificació, s'estima el pressupost del projecte, en el qual es té en compte els costos directes per a cada tasca, els costos indirectes, els imprevistos i la contingència. A la següent taula hi ha el pressupost detallat:

/////////!!!!ACTUALITZAR TAULA, EN ESPECIAL BACKEND + dissenyador!!!!/////////

////////Simplificar la taula i afegir la completa a l'appendix

	Unitats	Preu / Unitat (€)	Consum (W)	Vida útil (Anys)	Hores/ Dia	Hores d'ús	Cost (€)
Gestió del projecte							
Ordinador (MacBook Air)	1	1099	45	5	8	75	6.15
Càmera	1	150	5	3	8	20.5	0.37
Google Docs	1	0	-	-	-	50	0
Google Drive	1	0	-	-	-	50	0
Racó de la FIB	1	0	-	-	-	10	0
Atenea de la UPC	1	0	-	-	-	10	0
Recursos humans (enginyer informàtic)	1	20	-	-	-	75	1500
Iniciació del projecte							
Ordinador (MacBook Air)	1	1099	45	5	8	14	1.15

Recursos humans (enginyer informàtic)	1	20	-	-	-	14	280
Prototip del hardware							
Ordinador (MacBook Air)	1	1099	45	5	8	8	0.66
Microprocessador (tensyduino)	1	30	2	5	24	24	0.02
Sensor ritme cardíac*	1	60	0.1	3	24	24	0.06
Sensor d'activitat*	1	10	0.1	3	24	24	0.01
Sensor de temperatura*	1	10	0.1	3	24	24	0.01
Components electrònics	1	20	-	3	24	24	0.02
Arduino IDE	1	0	-	-	-	8	0
Recursos humans (enginyer informàtic)	1	20	-	-	-	24	480
Comunicació wearable - smartphone- servidor							
Ordinador (MacBook Air)	1	1099	45	5	8	120	9.84
Sensor BlueTooth*	1	10	0.1	3	24	120	0.05
Dispositiu Android	1	150	5	3	8	80	1.43
RaspberryPi 3	1	40	5	3	24	24	0.05
Disc dur USB	1	70	5	3	24	24	0.08
Memòria microSD 8 GB	1	8	-	3	24	24	0.01
Android Studio	1	0	-	-	-	80	0
Atom	1	0	-	-	-	24	0
Laravel	1	0	-	-	-	24	0
MySQL	1	0	-	-	-	24	0
Recursos humans (enginyer informàtic)	1	20	-	-	-	120	2400
Mensual							
ADSL	1	40	-	-	-	4	160

TOTAL Acumulat							4839.91
Contingència: 5%							242
Risc: 15%							725.99
Total sense impostos							5807.9
Impostos: 21%							1219.66
Total amb impostos							7028

Taula 3: Pressupost del projecte.

*Producte estimat no definitiu.

El pressupost recull els recursos software, hardware i humans agrupats per tasca. S'inclou el cost causat pel consum energètic quan és pertinent.

Pels recursos *hardware* i *software* que tenen un cost, s'ha realitzat un calcul en funció de les seves hores d'utilització i la seva vida útil per saber la amortització estimada. Per altra banda, com es pot observar, tot el *software* utilitzat és gratuït, i no comporta cap cost.

Els recursos humans del projecte els constitueixen un estudiant d'enginyeria informàtica especialitzat en computadors i un dissenyador. Cada hora de feina costa 20 euros.

Adicionalment es té en compte la quota mensual a pagar per a la connexió a internet en concepte de ADSL.

Un altre concepte a tenir en compte són els imprevistos. Per al càlcul d'aquest cost s'afegeix un 15% al total acumulat, per tal de tenir un marge de maniobra considerablement ample.

Per a fer una estimació del cost, només es té en compte l'amortització del hardware, les hores dels recursos humans i la connexió ADSL. La quantitat d'hores estimades és el resultat de la planificació temporal. En particular, s'han fet servir les següents formules:

$$\text{Recursos humans} = \text{Unitats} \cdot \frac{\text{Preu}}{\text{Unitat}} \cdot \text{Hores d'us}$$

$$\text{Recursos hw (sense consum)} = \text{Unitats} \cdot \frac{\text{Preu}}{\text{Unitat}} \cdot \text{Vida util} \cdot \frac{1 \text{ Any}}{365.25 \text{ dies}} \cdot \frac{1 \text{ Dia}}{\text{Hores / Dia}} \cdot \text{Hores d'us}$$

$$\text{Recursos hw (amb consum)} = \text{Recursos hw (sense consum)} + \text{Hores d'us} \cdot \text{Consum} \cdot \frac{0.15 \text{ €/kW}}{1000}$$

Formula 1: Formules per a calcular el cost.

Abreviació hw enlloc de hardware utilitzada per motius d'espai.

Per altra banda, es calcula el percentatge de la contingència. Per a aquest projecte és d'un 5%. Finalment, s'aplica l'IVA (21%) sobre el cost acumulat del pressupost.

6.2.2. Plà d'acció

Al llarg del projecte es poden produir desviacions, les quals es corregiran segons el pla d'actuació de la planificació. Tot i així, s'estableixen uns mecanismes que permeten calcular les desviacions respecte el pressupost i els costos reals.

El millor mecanisme per a aquest projecte tenint en compte la planificació i la importància de les tasques, és calcular les desviacions al final de les següents tasques:

- Iniciació del projecte: ja que en aquesta tasca s'adquireix *hardware*, que pot tenir un preu diferent a l'estimat. Cal doncs, en acabar aquesta tasca actualitzar el pressupost, d'acord amb el preu final dels components adquirits.
- Desenvolupament i desplegament del servidor: el cost del servei que proporciona els servidors pot variar segons la plataforma que s'elegeixi en la tasca.
- Desenvolupament de l'aplicació: aquesta és la tasca més complexa, i més difícil d'estimar a nivell temporal, a més compta amb la participació del dissenyador, per tant la fluctuació del temps dedicat respecte a l'estimat pot causar variacions al pressupost a causa dels recursos humans.

En aquests punts, es calcula el cost real en hores i es compara amb el cost de les hores estimades. En el cas que la diferencia sigui molt gran, s'ha d'estudiar el perquè ha passat i així evitar-ho en el futur. Al final del projecte també es calcula la desviació per a poder comparar-la i avaluar-la.

Tot i així, és poc probable que al final del projecte la diferencia entre el pressupost i el cost real sigui molt diferent, ja que, s'han calculat uns imprevistos bastant realistes, un risc elevat i una contingència del 5%.

7. Desenvolupament del wearable

7.1. Hardware

7.1.1. Components utilitzats.

Per a començar el desenvolupament del *wearable* el primer pas es seleccionar i adquirir els components. A continuació es descriuen els components adquirits i es justifica la seva elecció:

- Mòdul de comunicació *Bluetooth Bee v 2.0*:
- Sensor IMU ...:
- Sensor de temperatura ...:
- Sensor de ritme cardíac ...:
- Microprocessador *Teensy ++ 2.0*:

A l'apèndix es poden trobar tots els manuals tècnics o *datasheets* dels components.

7.1.2. Esquema del circuit.

Un cop disposem de tots els components aquests es connecten al microprocessador tal i com es mostra a la imatge següent:

////AFEGIR UNA IMATGE QUE MOSTRI L'ESQUEMA/////

7.2. Software

7.2.1. Obtenció de les dades

Un cop el *hardware* està operatiu, el següent pas és programar-lo per a obtenir les dades necessàries. A continuació es descriu com s'han obtingut les dades de cada sensor i com s'ha avaluat que aquestes siguin correctes:

- Sensor IMU:
- Sensor de temperatura:
- Sensor de ritme cardíac:

7.2.2. Comunicació de les dades

Per tal de comunicar les dades obtingudes del sensor utilitzant el mòdul *BlueTooth* es fa servir una interfície serie. Aquesta interfície es pot utilitzar mitjançant la llibreria del microprocessador. Per programar-la simplement fa falta fer crides a funcions

d'escriptura i lectura. Una decisió important que s'ha de prendre és el valor de la freqüència en que es volen obtenir les dades. En aquest sentit cada sensor presenta uns requisits diferents:

- **Sensor IMU:**
- **Sensor de temperatura:**
- **Sensor de ritme cardíac:**

Un altre aspecte a tenir en compte és la estructura que se li dona a les dades. En aquest cas s'ha optat per seguir el format JSON [\[REFERENCIA\]](#). D'aquesta manera és molt fàcil afegir, eliminar o modificar parts de la estructura sense afectar a les altres.

El format d'aquest JSON és el següent:

```
{
  "temperatura": [
    {
      "valor" : number,
      "time stamp": number
    }
  ],
  "IMU": [
    {
      "giroscopi X" : number,
      "giroscopi Y" : number,
      "giroscopi Z" : number,
      "accelerometre X" : number,
      "accelerometre Y" : number,
      "accelerometre Z" : number,
      "time stamp": number
    }
  ],
  "ritme cardíac": [
    {
      "valor" : number,
      "time stamp": number
    }
  ]
}
```

7.2.3. Optimitzacions

Per tal de complir amb els requisits del projecte, en concret, per aconseguir una major autonomia del *wearable* i una major disponibilitat de les dades s'han realitzat les següents optimitzacions:

- Encendre i apagar el *BlueTooth*: **PENDENT D'IMPLEMENTAR**
- Reduir la freqüència de *sampleig* en funció de la memòria disponible: **PENDENT D'IMPLEMENTAR**

7.2.4. Diagrama de flux del software

Un cop totes les parts del software han sigut programades i avaluades, aquestes es combinen seguint aquest diagrama de flux:

////AFEGIR UNA IMATGE QUE MOSTRI EL DIAGRAMA DE FLUX/////

A l'apèndix pot trobars-hi el codi que executa el *wearable* complert.

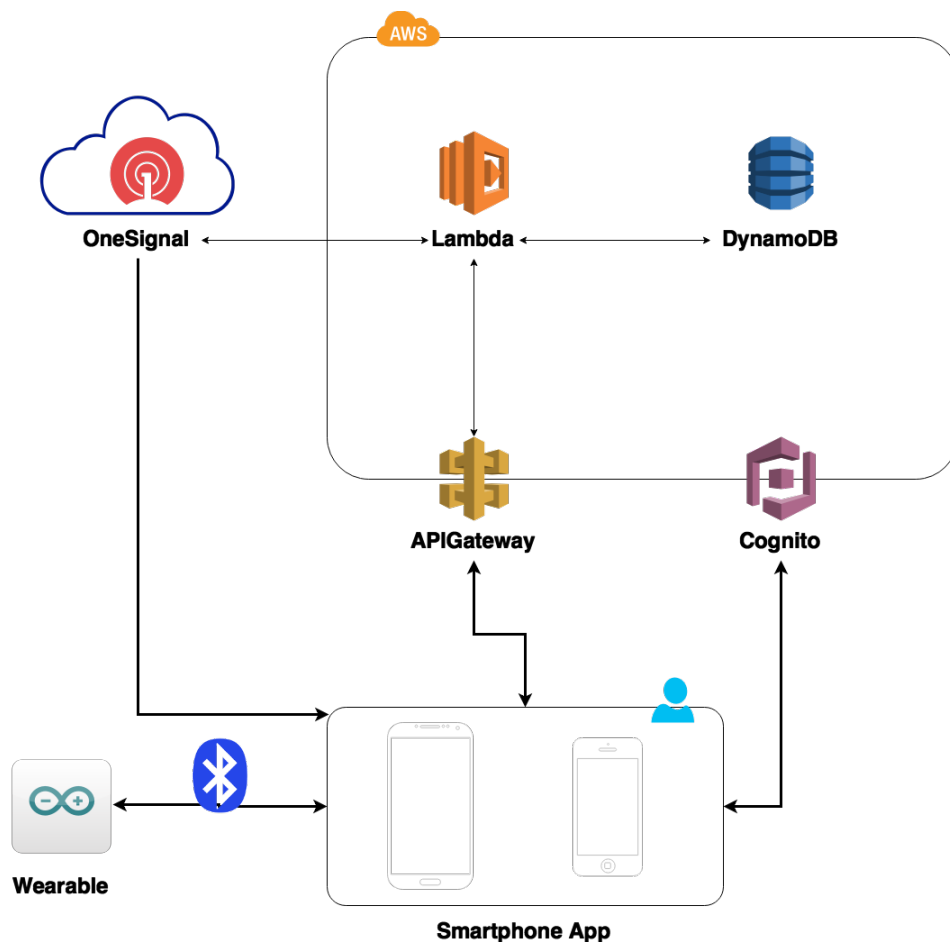
8. Desenvolupament i desplegament dels servidors

8.1. Proveïdors

//////// JUSTIFICAR I EXPLICAR LA ELECCIÓ DE AWS I ONESIGNAL //////////

8.2. Arquitectura i desenvolupament

El *backend* del projecte està desenvolupat seguint una arquitectura *serverless* és a dir, que en lloc de tenir servidors dedicats funcionant de manera continuada, es fan servir diferents serveis que emulen aquest mateix funcionament, però de manera distribuïda i sota demanda. Això permet una gran escalabilitat i disponibilitat a un preu linealment proporcional al volum d'ús que té el sistema. Tot seguit s'inclou un diagrama que reflexa la comunicació íntegra del sistema, i a continuació es descriuen els elements pertinents a l'arquitectura *serverless* o *backend*, quina és la seva funció dins del projecte i com s'han implementat i testejat.



8.2.1. *Cognito*

Permet registrar, verificar i autenticar usuaris. En aquest projecte la seva funció és la de validar l'autenticitat de les usuàries que es volen registrar mitjançant l'aplicació mòbil. En particular, s'ha habilitat de manera que implementi les següents funcionalitats:

- Registrar nous usuaris. Es demana a les usuàries que proporcionin un nom, una adreça de correu electrònic i una contrasenya.
- Comprovar que els usuaris registrats són persones reals enviant un correu electrònic a la adreça proporcionada per a la usuària, i demanant-li aquest codi.
- Obtenir una clau d'autenticitat o *token* si s'encerta una combinació de nom d'usuari o correu electrònic i contrasenya. Aquest *token* que s'obté serveix per a validar l'autenticitat de l'usuari en la resta de serveis.

El desenvolupament d'aquestes funcionalitats s'ha realitzat mitjançant la pàgina web d'AWS, sense ni una sola línia de codi. El testeig d'aquesta funcionalitat es fa mitjançant l'aplicació mòbil un cop aquesta està desenvolupada.

8.2.2. *API Gateway*

Permet rebre peticions HTTP i comunicar-se amb diferents serveis d'AWS, i retornar una resposta. En aquest projecte la funció d'aquest servei és la d'intermediari entre l'aplicació mòbil i Lambda (explicació a continuació). Addicionalment, aquest servei és capaç de rebutjar les peticions no autoritzades, és a dir als usuaris que no tinguin unes credencials correctes, subministrades per *Cognito*. Per tal d'implementar els diferents *endpoints* o adreces on es poden enviar peticions, s'ha generat un fitxer en format *yaml* seguint el conveni *SWAGGER* [\[REFERENCIA\]](#). Aquest fitxer descriu les característiques dels *endpoints*. Proporcionant aquest fitxer a la web d'AWS es suficient per a configurar correctament el servei. A continuació s'enumeren els *endpoints* habilitats per aquest projecte:

- Guardar dades del ritme cardíac
- Rebre dades del ritme cardíac
- Guardar dades de l'activitat física
- Rebre dades de l'activitat física
- Guardar dades de la temperatura corporal
- Rebre dades de la temperatura corporal
- Guardar dades personals
- Rebre dades personals
- Guardar el *token* de *OneSignal* (explicat en més detall a l'apartat de *OneSignal*)

- Enviar notificacions

El fitxer de configuració de la API es pot trobar a l'apèndix. El testeig d'aquest servei es realitza en conjunt amb el de *Lambda* i *DynamoDB*, i s'explica un cop s'introdueixen aquests dos.

8.2.3. *Lambda*

Permet executar codi sota demanda, aquest codi té la particularitat de poder interactuar amb els diferents serveis d'AWS. Es pot programar en diversos llenguatges i pot ser invocat de diverses maneres. En el cas d'aquest projecte, les funcions *Lambda* es programen en el llenguatge *node.js* [REFERENCIA] i s'invoken a través dels *endpoints* habilitats per *API Gateway*. De fet a cada un dels *endpoints* llistats li correspon una funció *Lambda*. Aquestes funcions es programen en un editor de codi integrat en la pròpia web d'AWS. Totes les funcions tenen en comú que realitzen o bé escriptures o bé lectures a la base de dades *DynamoDB*, que es descriu en el següent punt. Per tant el còdi de les diferents funcions és molt similar. Només existeix una funció que no segueix el patró anteriorment descrit, i es la que permet enviar notificacions. A l'apèndix s'inclou el codi d'una funció que realitza lectures i el d'una que realitza escriptures a mode d'exemple i la d'enviar notificacions.

8.2.4. *DynamoDB*

Es tracta d'una Base de dades noSQL [REFERENCIA]. Té com a funció emmagatzemar les dades de les usuàries. En particular s'han creat les següents taules:

- Ritme cardíac: aquesta taula conté el valor del ritme cardíac, es a dir, les pulsacions per minut, agrupades per usuària i moment en que s'enregistra la dada.
- Activitat física: similar a la de ritme cardíac però enlloc de pulsacions per minut el valor és quantitat d'activitat.
- Temperatura corporal: semblant a les dues anteriors però aquí el valor és temperatura en C°.
- Informació corporal: aquesta taula guarda el pes, altura i edat de cada usuària. Aquesta informació podria resultar útil si en el futur s'implementa el processat de dades de les usuàries de manera conjunta.
- *OneSignal*: es guarda la identitat del servei *OneSignal* de cada usuària per tal de poder-les vincular.

Per tal d'avaluar el conjunt dels serveis *API Gateway*, *Lambda* i *DynamoDB*, es fa servir el *software Postman*. Aquest *software* permet realitzar peticions a *API Gateway*. De manera que es realitzen peticions per a comprovar el correcte funcionament dels serveis mencionats. Primer es realitzen operacions d'escriptura. El propi *software* es

capaç d'ensenyar la resposta que proporcionen els *endpoints*. No només es confirma que les respostes rebudes són satisfactòries, sinó que es comprova que el contingut a les diferents taules de *DynamoDB* són consistents amb el contingut que s'hi a escrit. Finalment es fan peticions de lectura i és comprova que la resposta conté la informació esperada.

8.2.5. OneSignal

Servei de notificacions *push*, permet enviar notificacions a *smartphones*. La funció d'aquest servei dins el projecte es la de facilitar la comunicació del *backend* cap a l'aplicació mòbil, sense que l'*smartphone* estigui enviant constantment peticions i així reduir el cost que suposa fer servir el conjunt de serveis d'AWS.

Aquest servei es configura mitjançant la seva pàgina web. Es pot fer servir de varies maneres. En aquest cas, les usuàries obtenen un *token* mitjançant l'aplicació mòbil. Aquest *token* es guarda a *DynamoDB* i d'aquesta manera resulta accessible a la funció *Lambda* que és comunica mitjançant el protocol HTTP amb els servidors de *OneSignal* que finalment envien la notificació als respectius *smartphones*. Aquest servei s'avalua de la mateixa manera que la resta de funcions *Lambda*, ja que també s'acciona a través de *API Gateway*.

9. Implementació de l'aplicació

9.1. Plataforma de desenvolupament

////// EXPLICAR I JUSTIFICAR L'ELECCIÓ DE REACT NATIVE ////

9.2. Arquitectura del software

////// DIAGRAMA DE L'ARQUITECTURA DEL SOFTWARE ////

////// EXPLICAR REDUX ////

9.2.1. Components de comunicació

////////DESCRIPCIÓ DE LA COMUNICACIÓ AMB WEARABLE I SERVIDOR////////

9.2.2. Components de processament de les dades

////////DESCRIPCIÓ DELS ALGORITMES PER PROCESSAR LES DADES////////

9.2.3. Components d'emmagatzemament de les dades

////////DESCRIPCIÓ DE LA PERSISTÈNCIA////////

9.2.4. Components d'interfície d'usuari

////////BREU EXPLICACIÓ DE COM FUNCIONEN ELS COMPONENTS D'INTERFÍCIE A REACT////////

9.3. Interfície i experiència d'usuari

9.3.1. Diagrama de flux de l'aplicació

9.3.2. Diferències entre plataformes

9.3.3. Consideracions d'usabilitat

//////A L'APENDIX S'INCLOUEN CAPTURES DE TOTES LES PANTALLES////

10. Avaluació dels resultats

11. Informe de sostenibilitat

INCLOURE LES PARTS PERTINENTS A LA MEMORIA FINAL

Per a poder realitzar un estudi de sostenibilitat de la planificació, es valorarà des de tres punts de vista: econòmic, social i ambiental. En cada una d'aquestes dimensions s'obindrà una puntuació que es calcularà usant el mètode socràtic, és a dir, contestant una sèrie de preguntes. A aquestes preguntes se'ls hi assigna una puntuació seguint les pautes marcades per la UPC per a avaluar la sostenibilitat del TFG.

	Projecte Posat a Producció (0 ~ 10)	Vida útil (0 ~ 20)	Riscos (-20 ~ 0)	Puntuació
Ambiental	5	5		10
Econòmic	9	7		16
Social	6	18		24
Puntuació	20	30	0	Total = 50

Taula 4: Taula amb les puntuacions de la sostenibilitat del TFG.

A la taula és pot apreciar la puntuació de cada dimensió, amb possibles valors de 0 a 30, del projecte posat a producció (de 0 a 30) i de la vida útil (de 0 a 60). També apareix la puntuació total del projecte (de 0 a 90). La columna de riscos no s'avalua fins a la fase final del projecte.

A continuació es justifica les puntuacions de cada una de les dimensions, responnent a les preguntes plantejades pel mètode.

11.1. Dimensió econòmica

- S'han avaluat els costos materials i de recursos humans.
- No s'han considerat costos de possibles reparacions o actualitzacions durant la vida útil del projecte.
- El cost del projecte és viable a nivell competitiu. El projecte té finalitats comercials.
- El projecte és podria realitzar en un temps total inferior, ja que la dedicació a aquest serà parcial, però a nivell de recursos humans, és a dir de temps consumit i per tant costos es correcte.
- El temps dedicat a cada tasca és proporcional a la seva importància.
- El projecte es fa amb col·laboració de *Malaysia Healthcare Travel Council* (MHTC).

11.2. Dimensió social

- Malasia és un país que està en vies de creixement, intentant posar-se al nivell dels països del primer món. Actualment les pràctiques de FIV atrauen a gent de diversos països ja que són més competitives que a altres llocs.
- Un desenvolupament amb èxit del projecte contribuiria a augmentar la qualitat del procés de FIV i abaratir-ne el cost.
- El producte que es desenvolupa no és estrictament necessari, però reforça un servei ja existent, i de caràcter fortament social.
- La qualitat de vida dels consumidors milloraria amb el producte, ja que aquest faria la FIV més econòmica, i amb més probabilitat d'èxit, reduint per tant el temps que comporta als usuaris.
- Cap col·lectiu es veu perjudicat pel TFG.

11.3. Dimensió ambiental

- Per al projecte es necessiten diferents recursos *hardware* com ara sensors i microprocessadors, juntament amb els recursos necessaris per a produir el *software*. (Els recursos necessaris han estat analitzats exhaustivament prèviament).
- Durant les diferents fases del projecte aquest es consumirà electricitat, tot i que atès al baix consum dels components que es faran servir, el consum elèctric és poc significatiu.
- La mateixa activitat es podria dur a terme sense l'ús de tot el *hardware* que es pretén produir en cas d'èxit al projecte.
- Alguns recursos es poden reutilitzar d'altres projectes anteriors com ara l'ordinador que es farà servir durant tot el desenvolupament.
- Els components que es faran servir requereixen d'una gran quantitat d'energia per ser produïts, de fet, molt superior a la que consumiran durant la seva vida útil.
- No s'han tingut en compte el desmantellament un cop acabi la vida útil ni el reciclatge.
- Durant el desenvolupament no es generarà contaminació directament.
- El projecte requereix de material manufacturat, els components electrònics, en una quantitat relativament petita. La seva producció no es ètica.
- La implantació del projecte augmenta la petjada ecològica.
- Totes les parts del projecte es poden fer servir en altres possibles futurs projectes.

12. Conclusions

13. Bibliografía

1. Laura Aibar Villán LMN. FECUNDACIÓN IN VITRO [Internet]. 3 Mar 2011. Available: http://www.hvn.es/servicios_asistenciales/ginecologia_y_obstetricia/ficheros/clase2011_fecundacion_in_vitro.pdf
2. Collins J. Cost-effectiveness of In Vitro Fertilization. *Semin Reprod Med.* 2001;19: 279–290.
3. ESHRE Task Force on Ethics and Law, including, Dondorp W, de Wert G, Pennings G, Shenfield F, Devroey P, et al. Lifestyle-related factors and access to medically assisted reproduction. *Hum Reprod.* 2010;25: 578–583.
4. Piwek L, Ellis DA, Andrews S, Joinson A. The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers. *PLoS Med.* 2016;13: e1001953.
5. Parak J, Korhonen I. Evaluation of wearable consumer heart rate monitors based on photoplethysmography. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2014;2014: 3670–3673.
6. Lynn WD, Escalona OJ, McEneaney DJ. Arm and wrist surface potential mapping for wearable ECG rhythm recording devices: a pilot clinical study. *J Phys Conf Ser.* 2013;450: 012026.
7. Muneer KVA, Ahammed Muneer KV. Non contact ECG recording instrument for continuous cardiovascular monitoring. *IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI).* 2014. doi:10.1109/bhi.2014.6864355
8. Zaman KI, White A, Yli-Piipari SR, Hnat TW. K-Sense: Towards a Kinematic Approach for Measuring Human Energy Expenditure. *Lecture Notes in Computer Science.* 2014. pp. 166–181.
9. Prathivadi Y, Wu J, Bennett TR, Jafari R. Robust activity recognition using wearable IMU sensors. *IEEE SENSORS 2014 Proceedings.* 2014. doi:10.1109/icsens.2014.6985041
10. Ohnishi Y, Katsura S. Recognition and classification of human motion based on hidden Markov model for motion database. 2012 12th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC). 2012. doi:10.1109/amc.2012.6197112
11. Schwaber K. SCRUM Development Process. *Business Object Design and Implementation.* 1997. pp. 117–134.