

Emma Argilés Iglesias

ANÀLISI DE L'ESTRÈS PSICOLÒGIC A PARTIR DE LES DADES BIOMÈTRIQUES D'UNA SMART-BAND

TREBALL DE FI DE GRAU

dirigit pel Sr. Albert Oller Pujol

Grau de Enginyeria Biomèdica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Agraïments

Voldria expressar el meu profund agraïment a totes les persones que han contribuït al desenvolupament i èxit d'aquest Treball de Fi de Grau.

En primer lloc, el meu sincer agraïment a la Dra. Neus Martínez, la seva col·laboració i orientació han estat fonamentals per a la realització d'aquesta investigació. La seva experiència i coneixements en la metodologia LEGO® Serious Play® han aportat un valor incalculable a aquest estudi, proporcionant un marc d'estrès controlat que ha enriquit significativament els resultats obtinguts. El seu suport i disposició per a compartir la seva experiència han estat imprescindibles.

També vull agrair al meu tutor del TFG, Albert Oller. La seva guia i supervisió durant tot el procés han estat essencials. La seva dedicació, correccions i suggeriments han millorat significativament la qualitat del projecte i han permès que aquest treball es dugui a terme amb èxit.

Així mateix, agraeixo a tots els participants del projecte "The Brick Experience" per la seva disposició i col·laboració, sense els quals no hauria estat possible dur a terme aquesta recerca.

Finalment, vull expressar la meva gratitud a tothom qui m'ha donat suport, ja que aquest treball és el resultat d'un esforç col·lectiu, i estic profundament agraïda per haver comptat amb el suport i la col·laboració de persones tan extraordinàries. A tots vosaltres, el meu més sincer agraïment.

Resum

Aquest estudi investiga el càlcul de l'estrès psicològic utilitzant les mesures de Variabilitat del Ritme Cardíac (HRV) obtingudes d'un Smartwatch. L'objectiu és desenvolupar un mètode quantitatiu per avaluar l'estrès psicològic mitjançant l'anàlisi de les dades de HRV. Es monitoritza la resposta fisiològica dels participants en diversos entorns, inclosos ambients controlats i durant activitats específiques com el projecte 'The Brick Experience', per establir correlacions entre les activitats diàries i els nivells d'estrès. S'apliquen tècniques de processament de dades i algoritmes d'aprenentatge automàtic supervisat per interpretar i categoritzar els patrons fisiològics associats a l'estrès. Els resultats demostren la viabilitat i l'eficàcia de l'ús de la HRV, per identificar i gestionar l'estrès psicològic en diferents contextos. Mitjançant l'anàlisi de les dades de HRV, aquest estudi contribueix a comprendre la relació entre els estats psicològics i les respostes fisiològiques. La metodologia desenvolupada proporciona una aproximació sistemàtica per quantificar els nivells d'estrès utilitzant dispositius portàtils, obrint camins per a la gestió personalitzada de l'estrès i les intervencions en salut mental.

Paraules clau: Estrès psicològic, Variabilitat del Ritme Cardíac (HRV), Smartwatch, anàlisi de dades, aprenentatge automàtic supervisat, mètode quantitatiu.

Abreviatures

Abreviatura	Significat
HRV	Variabilitat del Ritme Cardíac
SNA	Sistema Nerviós Autònom
SNS	Sistema Nerviós Simpàtic
SNP	Sistema Nerviós Parasimpàtic
HPA	Eix Hipotàlem-Pituitari-Adrenal
CRH	Hormona d'Alliberació de Corticotropina
ATCH	Hormona Adrenocorticotròpica
IMC	Índex de Massa Corporal
PPG	Fotopletismografia
RMSSD	Desviació Estàndard de les Successives Diferències dels Intervals R-R
APE	Percentatge Absolut d'Error
COTS	Comercial-Off-The-Shelf
HRV4TR/ECG	HRV4Training via ECG
ELT/ECG	Elite HRV via ECG
ELT/PPG	Elite HRV via PPG
HRV4TR/PPG	HRV4Training via PPG
FSTBT	Firstbeat

Índex de figures

Figura 1. L'actuació del nostre cos davant l'estrès a través del HPA axis i la secreció de les hormones [9].....	12
Figura 2. Relació entre l'estrès, Sistema Nerviós Autònom (SNA) i la HRV [13].....	13
Figura 3. HRV segons l'edat diferenciant el sexe: dona (línia roja) i home (línia blava) [15]	14
Figura 4. Sensor PPG d'un Smartwatch [18]	16
Figura 5. Pas a pas del càlcul de rMSSD [21]	16
Figura 6. Gràfic de caixes del percentatge absolut d'error (APE) per als dispositius 'comercial-off-the-shelf' (COTS) que han informat de l'rMSSD com a indicador de la HRV. Els dispositius COTS inclosos són HRV4Training via ECG (HRV4TR/ECG), OURA SmartRing (OURA), Elite HRV via ECG (ELT/ECG), Elite HRV via PPG (ELT/PPG), HRV4Training via PPG (HRV4TR/PPG), i Firstbeat (FSTBT) [22].....	17
Figura 7. Sensor PPG del Fit&Health 2166 Smart Watch	17
Figura 8. Fit&Health 2166 Smart Watch	18
Figura 9. Ordre temporal de l'estructura de les sessions 'The Brick Experience'	20
Figura 10. Representació esquemàtica del model RandomForest [26]	22
Figura 11. Gràfic amb Excel de les dades inicials del HRV, mitjana, rang i Estrès del dia 18	24
Figura 12. Exemple del funcionament de la finestra mòbil.....	24
Figura 13. Exemple del funcionament del filtre	25
Figura 14. Exemple del funcionament de la histèresi.....	26
Figura 15. Taula d'exemple de les dades de la quantificació i classificació del Index d'Estrès de la HRV del usuari R01 de The Brick Experience' amb Python	27
Figura 16. Interacció de les peces LEGO i els Smartwatches durant el projecte 'The Brick Experience'	28
Figura 17. Smartwatches Fit&Health 2166 numerats del 1 al 20.....	28
Figura 18. Aplicació 2025test per seleccionar el Smartwatch que volem connectar	29
Figura 19. Aplicació 2025test.....	30
Figura 20. Exemple de les dades recollides pel Smartwatch durant el projecte 'The Brick Experience'	30
Figura 21. Aplicació Time Tracker apartat 'Usuarios' per identificar usuari i rellotge.....	31
Figura 22. Aplicació Time Tracker	32
Figura 23. Aplicació Time Tracker amb notificació per canviar de ronda.....	33
Figura 24. Exemple de les dades recollides pel mòbil dels marcadors de les preguntes durant el projecte 'The Brick Experience'	33
Figura 25. Codi Python de la implementació del model de classificació RandomForest ..	34

Figura 26. Codi Python de l'obtenció d'importàncies i el càlcul del índex d'estrès psicològic
..... 35

Índex

1	Introducció.....	10
2	Marc Teòric	11
2.1	Estrès Psicològic	11
2.2	Variabilitat de la Freqüència Cardíaca (HRV)	13
2.3	Mesures amb Smartwatch	15
2.3.1	Fit&Health 2166 Smart Watch.....	17
2.4	The Brick Experience	19
2.4.1	Estructura de les Sessions	19
2.4.2	Recollida de Dades Biomètriques	20
2.5	Model Aprenentatge Automàtic: RandomForest	21
3	Referències	58

1 Introducció

En la societat actual, l'estrès psicològic es considera una epidèmia silenciosa que deteriora de manera significativa la qualitat de vida i la salut de les persones [1]. L'estrès pot originar-se a partir d'una àmplia gamma de factors i el seu impacte en el cos humà n'és objecte d'estudi. La recerca es centra en l'ús de la tecnologia wearable, el Smartwatch, per a la monitorització i anàlisi de l'estrès psicològic.

Els Smartwatches han emergit com a una prometedora eina per a la monitorització accessible de l'estrès [2]. Diverses investigacions han confirmat el seu baix marge d'error en la mesura de la variabilitat del ritme cardíac (HRV) [3]. A més, aquesta mesura s'ha mostrat com un marcador efectiu per avaluar l'impacte de l'estrès psicològic en l'equilibri simpàtic-vagal del cos [4].

La importància d'aquest estudi radica en la seva capacitat per proporcionar una comprensió més profunda dels efectes de l'estrès psicològic en els individus i com aquesta es veu relacionada amb la HRV. Aquesta recerca pretén respondre a la pregunta: Com es pot calcular l'índex d'estrès psicològic a partir de les dades biomètriques d'un Smartwatch? [5].

L'objectiu principal d'aquest estudi és desenvolupar un índex d'estrès psicològic basat en les mesures obtingudes amb els Smartwatches, amb l'esperança de proporcionar una millor comprensió dels efectes de l'estrès psicològic en els individus i com aquest afecta la HRV. La metodologia emprada implica l'ús d'operacions específiques amb Python per extreure'n l'índex, i l'ús del projecte "The Brick Experience" per controlar aquestes dades i observar la influència de l'estrès en els individus.

La col·laboració de l'estudi "The Brick Experience", ofereix un marc d'estrès controlat mitjançant la metodologia LEGO® Serious Play®, implementada per la Dra. Neus Martínez. Aquesta col·laboració no només enriqueix la investigació amb un context realista, sinó que també fomenta la comunicació, el treball en equip i les habilitats interpersonals dins dels entorns laborals [6].

A continuació, es presenta una revisió de la literatura sobre l'estrès psicològic i la seva mesura utilitzant dades biomètriques. Posteriorment, es descriu la metodologia utilitzada en aquesta investigació, seguida dels resultats obtinguts i la seva discussió. Finalment, es conclourà amb les troballes principals i les seves implicacions.

2 Marc Teòric

2.1 Estrès Psicològic

L'estrès és un fenomen de crítica importància en la societat actual, està associat a diversos símptomes fisiològics, psicològics i conductuals que tenen un impacte significatiu a nivell individual. No obstant, la comprensió de l'estrès des de perspectives acadèmiques i organitzacionals és limitada, degut a la falta d'unificació en la definició i conceptualització [7]. L'estrès psicològic es manifesta quan un individu percep que les demandes ambientals excedeixen la seva capacitat adaptativa, centrant la recerca en la percepció d'esdeveniments estressants i les respostes individuals a aquests [8].

Inicialment, l'estrès és una resposta normal o fisiològica als estímuls estressants als quals tots els éssers vius estan exposats. Aquests estímuls, denominats estressors, poden ser de diversa naturalesa, incloent situacions laborals, financeres, relacions interpersonals, entre d'altres. El cos respon a aquests estímuls a través de l'activació de l'eix hipotalàmic-pituïtari-adrenal (HPA), alliberant hormones com l'epinefrina i el cortisol per afrontar la situació estressant. Un estrès crònic o excessiu pot conduir a problemes físics i emocionals, com ara frustració, ira, tristesa o nerviosisme. Diversos estudis han documentat l'impacte de l'estrès en la salut, incloent problemes cardiovasculars, diabetis, trastorns endocrins, trastorns del son, entre d'altres [9].

El Sistema Nerviós Autònom (SNA), és responsable de regular moltes de les funcions inconscients del cos i juga un paper significatiu en la resposta del cos a l'estrès psicològic. Els models de fisiologia de l'estrès han definit els sistemes de resposta a l'estrès com a forces d'activació i inhibició entre les dues branques del SNA: el sistema nerviós simpàtic (SNS) i el sistema nerviós parasimpàtic (SNP) [10]. Durant una situació d'estrès, el SNS s'activa, desencadenant el que es coneix com la resposta de "lluita o fugida". Aquesta resposta causa una sèrie de canvis fisiològics com l'augment de la freqüència cardíaca, preparant el cos per a l'acció immediata. D'altra banda, el SNP, es coneix com el sistema de "descans i digestió", promou la relaxació, la digestió i la recuperació, generalment s'activa quan el cos es troba en un estat de calma i relaxació [12].

Davant les adversitats, el cos reacciona a través de l'eix hipotalàmic-pituïtari-adrenal (HPA). Primerament, quan es troba en una situació d'estrès, el SNS intervé secretant epinefrina i norepinefrina, l'hormona de lluita i fugida. Això provoca canvis corporals inicials com l'augment ràpid de la freqüència cardíaca o la sudoració. Uns deu segons després, s'estimula l'eix HPA i l'hipotàlem secreta hormones de alliberació de corticotropina (CRH). Aquesta CRH causa un augment de la freqüència cardíaca i també senyalitza a la hipòfisi perquè segregui l'hormona adrenocorticotròpica (ACTH), que viatja a través del torrent sanguini fins a arribar a la glàndula adrenal. Finalment, les glàndules adrenals comencen a secretar

cortisol, l'hormona de l'estrès, aquest ajuda a gestionar les situacions, proporcionant al cos l'energia necessària per afrontar el desafiament, en la figura 1 es mostra de manera simplificada aquesta reacció en cadena. També provoca un augment de la pressió arterial, sudoració, reducció de la sensació de dolor, augment de la tensió muscular i digestió més lenta [9].

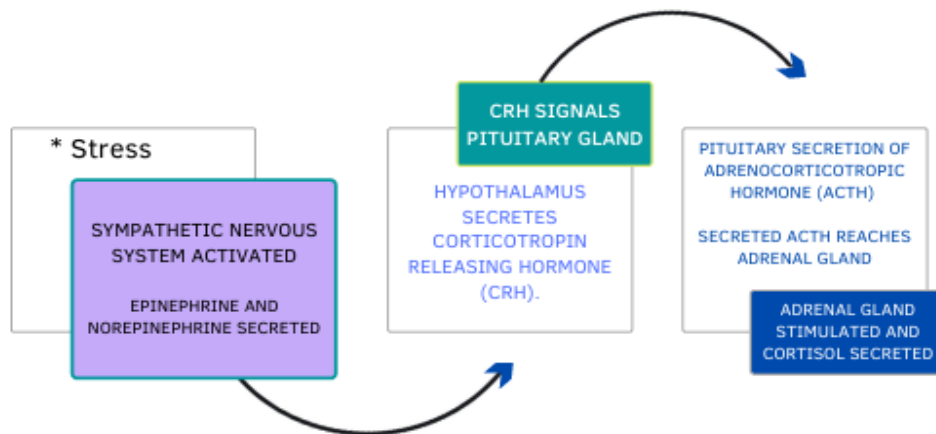


Figura 1. L'actuació del nostre cos davant l'estrès a través del HPA axis i la secreció de les hormones [9]

L'estrès físic i l'estrès psicològic són dues formes diferents de resposta del cos a diversos tipus d'estímuls i reptes, cada una amb efectes característics sobre el cos i la ment. En el cas de l'estrès físic, el cos enfronta demandes immediates i tangible, com ara l'exercici intens, les lesions o amenaces físiques. Aquest tipus d'estrès activa principalment el SNS, desencadenant respostes de "lluita o fugida". Com a resultat, s'observa un augment ràpid de la freqüència cardíaca, la pressió arterial i la sudoració, mentre el cos mobilitza energia per fer front a la situació física estressant, la HRV tendeix a disminuir a causa d'aquesta activació del SNS. D'altra banda, l'estrès psicològic emergeix de tensions emocionals o mentals, com ara preocupacions persistents, ansietat o pressió laboral. En aquest tipus d'estrès, el SNP, que normalment promou la relaxació i la recuperació, mostra una activitat reduïda. Això es reflecteix en una disminució de la HRV, indicant una menor capacitat de l'organisme per adaptar-se i recuperar-se emocionalment [11]. La relació entre l'estrès psicològic, el SNA i la HRV es mostra en la figura 2.

L'associació entre l'estrès psicològic i la HRV ha estat àmpliament estudiada en la literatura. S'ha observat que l'estrès psicològic pot reduir la HRV, reflectint una disminució de l'activitat parasimpàtica i un augment de l'activitat simpàtica [9]. Aquesta relació suggereix que la HRV pot ser un indicador sensible del nivell d'estrès psicològic experimentat per una persona. Així, l'anàlisi de la HRV pot proporcionar informació útil sobre com l'estrès afecta el funcionament del sistema nerviós autònom i la salut cardiovascular en general.

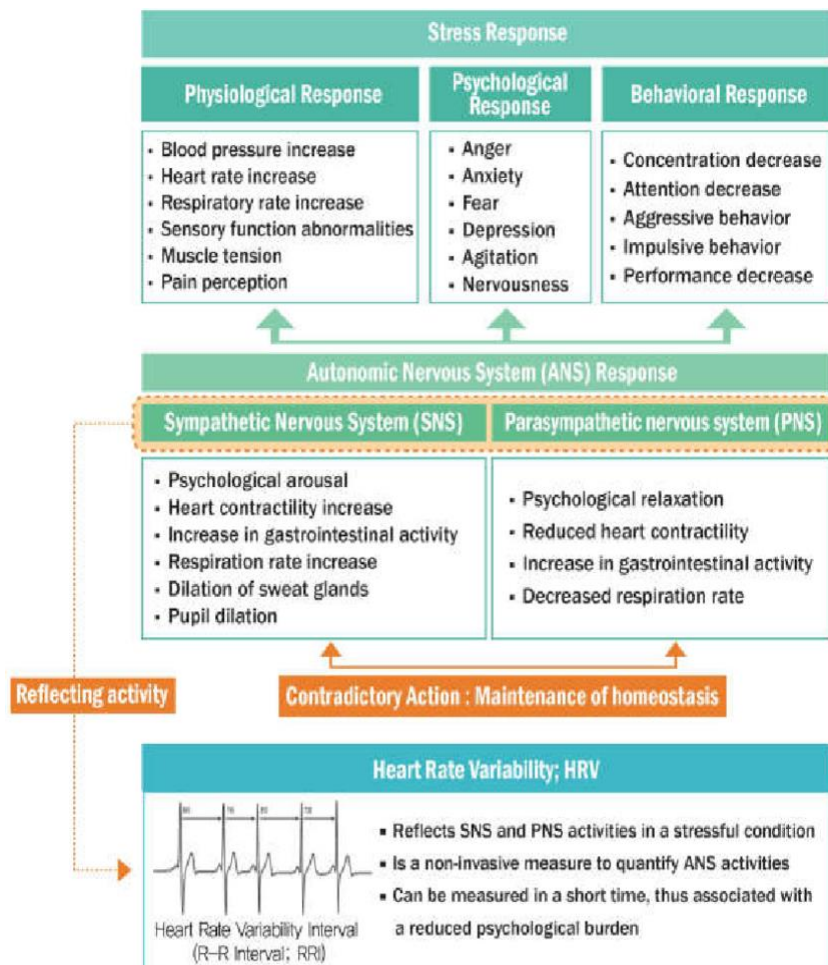


Figura 2. Relació entre l'estrès, Sistema Nervios Autònom (SNA) i la HRV [13]

2.2 Variabilitat de la Freqüència Cardíaca (HRV)

La Variabilitat de la Freqüència Cardíaca (HRV) és un paràmetre que quantifica les fluctuacions temporals entre els batecs consecutius del cor. Aquesta variabilitat és el resultat de la interacció entre les dues branques del Sistema Nervios Autònom (SNA): el Sistema Nervios Simpàtic (SNS), que accelera la freqüència cardíaca, i el Sistema Nervios Parasimpàtic (SNP), que la redueix [2].

La HRV és un indicador valuós de l'activitat del SNA i té una relació directa amb l'estrès psicològic. El nostre cos s'adapta constantment als desafiaments que trobem, com ara l'estrès, amb l'objectiu de mantenir un estat d'equilibri, o homeòstasi. L'avaluació de la HRV proporciona una visió detallada de la resposta del cos a l'estrès psicològic. Una disminució de la HRV sol indicar una disminució en l'activitat del SNP, suggerint una dificultat en la recuperació completa del cos o un augment general de l'estrès corporal [3].

La mesura de la HRV és una eina no invasiva que permet estimar l'activitat del SNA sense necessitat de procediments invasius. Aquesta eina és eficient per detectar els efectes de l'estrès psicològic en la regulació fisiològica del cos, sent útil en l'avaluació i el maneig de l'estrès i els seus efectes sobre la salut.

No obstant, la disminució de la HRV no només es veu influenciada per l'estrès psicològic, sinó també per altres factors com l'edat, el sexe, l'Índex de Massa Corporal (IMC) i l'activitat física. [14] És important considerar aquests factors quan s'avalua la HRV en un context clínic o de recerca. A més, aquests factors poden ser útils per a la personalització de les intervencions destinades a millorar la comprensió de la HRV.

- **Edat:** La HRV tendeix a disminuir amb l'edat a causa dels canvis naturals en el SNA a mesura que envellim. En persones més joves, es pot observar una major variabilitat en la freqüència cardíaca, la qual cosa indica una major adaptabilitat i capacitat de recuperació del cos davant de l'estrès [15]. Per tant, major sensibilitat a les fluctuacions en la HRV que poden indicar estrès.
- **Sexe:** El sexe té un mínim efecte en la HRV en comparació amb els altres factors. Les dones tendeixen a exhibir una HRV més baixa que els homes fins als 40 anys, aquesta diferència disminueix amb l'edat i pot estar relacionada amb la regulació hormonal [15].

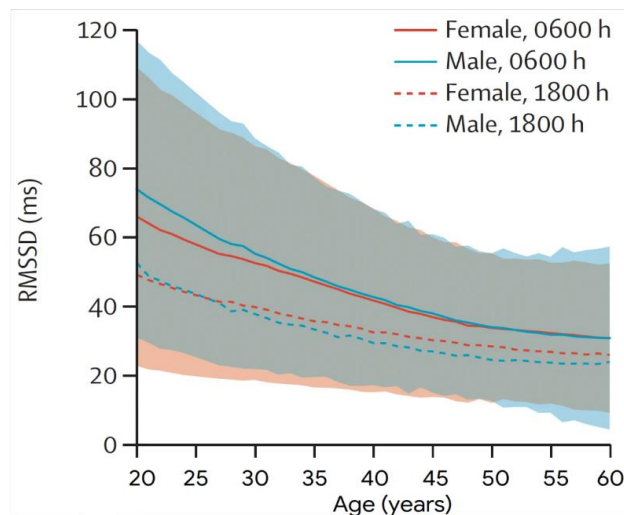


Figura 3. HRV segons l'edat diferenciant el sexe: dona (línia roja) i home (línia blava) [15]

Un estudi que va recollir dades de Fitbit de 8 milions de persones va trobar que la HRV mitjana per als homes als seus 20 anys és aproximadament 61 (ms); als seus 30 anys és 49; als seus 40 anys és 37; als seus 50 anys és 32; i als seus 60 anys és 31. La HRV mitjana per a les dones als seus 20 anys és aproximadament 57; als seus 30

anys és 47; als seus 40 anys és 37; als seus 50 anys és 33; i als seus 60 anys és 31. Per tant, la figura mostra que els homes tendeixen a tenir la HRV una mica més alt fins als 40, que a partir d'allí no hi ha pràcticament diferència entre sexes; I una disminució més pronunciada de la HRV entre els 20-40 anys després es manté més constant.

- **Índex de Massa Corporal (IMC):** L'IMC és un indicador de l'adipositat corporal i està relacionat amb la salut cardiovascular. Les persones amb un IMC més alt, amb sobrepès o obeses, solen presentar una HRV més baixa, que indica una funció compromesa del SNA [17]. Això està associat amb un augment del SNS, que produeix un augment de la HR, per tant, una disminució de la HRV.
- **Activitat física:** L'activitat física regular està associada amb una major HRV a causa dels seus efectes beneficiosos en la funció del SNA i la salut cardiovascular. Les persones físicament actives solen mostrar una major capacitat de regulació autònoma, la qual cosa es reflecteix en una HRV més alta en comparació amb aquelles que duen un estil de vida més sedentari [12].

2.3 Mesures amb Smartwatch

El Smartwatch és un dispositiu electrònic multifuncional que fusiona les característiques d'un rellotge convencional amb funcionalitats avançades, incloent el seguiment de la salut, notificacions, aplicacions i més. Una de les seves funcions principals és la capacitat de monitoritzar la freqüència cardíaca i l'estrès de l'usuari.

Aquest dispositiu està equipat amb un sensor de Fotopletismografia (PPG), que utilitza llums infraroigs de baixa intensitat, típicament de color vermell i verd, per penetrar la pell del canell de l'usuari, la sang absorbeix la llum verda i reflecteix la roja. El sensor PPG consta de dos parts principals[18]:

- **Emisor òptic:** Aquest component emet llum en la pell. La llum emesa penetra en la pell i és absorbida per la sang i altres teixits [18].
- **Detector:** Aquest component detecta la quantitat de llum que es reflecteix de tornada al sensor. Durant cada batec del cor, la quantitat de sang en les venes augmenta, la qual cosa augmenta l'absorció de llum i redueix la quantitat de llum reflectida. Entre batecs, la quantitat de sang disminueix, la qual cosa redueix l'absorció de llum i augmenta la quantitat de llum reflectida [18].

Aquest patró de canvi en la llum reflectida es coneix com a pletismograma. El pletismograma pot ser analitzat per extreure diverses mètriques de salut, com la freqüència cardíaca i la HRV [19].

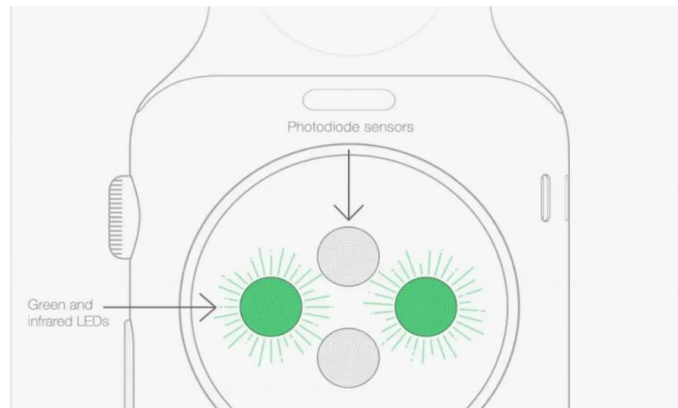


Figura 4. Sensor PPG d'un Smartwatch [18]

Per al càlcul de la HRV, utilitzen una mesura coneguda com a rMSSD (Root Mean Square of Successive Differences), que és la mitjana quadràtica de les diferències successives entre cada freqüència cardíaca (HR). Aquesta mesura proporciona una mesura fiable de la HRV i l'activitat parasimpàtica.

Per calcular l'índex rMSSD, primer es determinen els intervals R-R, que són els intervals de temps entre batecs consecutius. A continuació, es calcula la diferència successiva entre aquests intervals R-R. Aquestes diferències successives s'eleven al quadrat, es suma el total d'aquestes diferències elevades al quadrat, i finalment es pren l'arrel quadrada de la mitjana [20]:

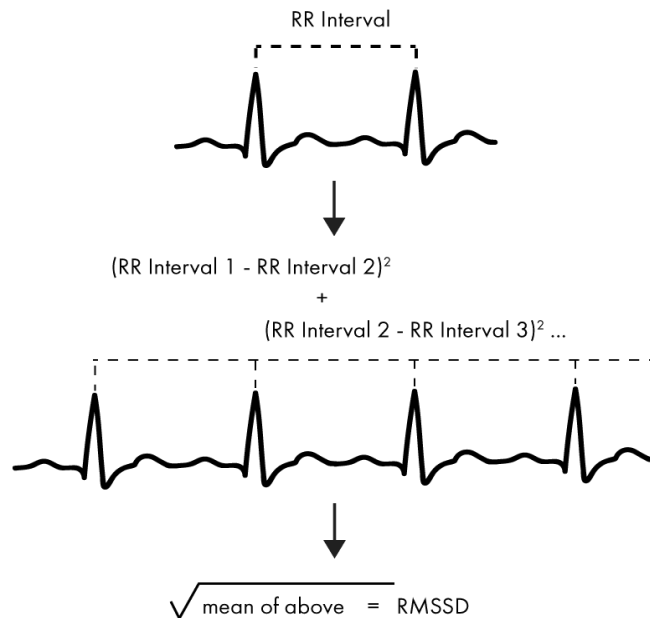


Figura 5. Pas a pas del càlcul de rMSSD [21]

És fonamental que el sensor sigui fiable, i per això es recomana que estigui validat. Un estudi mostra una validació independent que mira la precisió de les aplicacions i dels sensors de HRV comercialment disponibles. Aquest estudi informa de les següents mitjanes d'error: 3% per HRV4Training + Polar H10, 4% per l'anell Oura, i 5% per HRV4Training utilitzant la càmera. Aquests resultats mostren com PPG (tant HRV4Training com Oura) supera fins i tot els sistemes que es basen en corretges de pit, com Firstbeat en aquest document (10% d'error). Aquests valors es poden observar en la figura 6. Així, hi ha evidències que el Smartwatch incorpora algorismes avançats per filtrar el soroll i millorar la precisió de les mesures, captant correctament la mesura de la HRV. Per tant, el sensor PPG proporciona una estimació no invasiva i adient de la freqüència cardíaca de l'usuari [23].

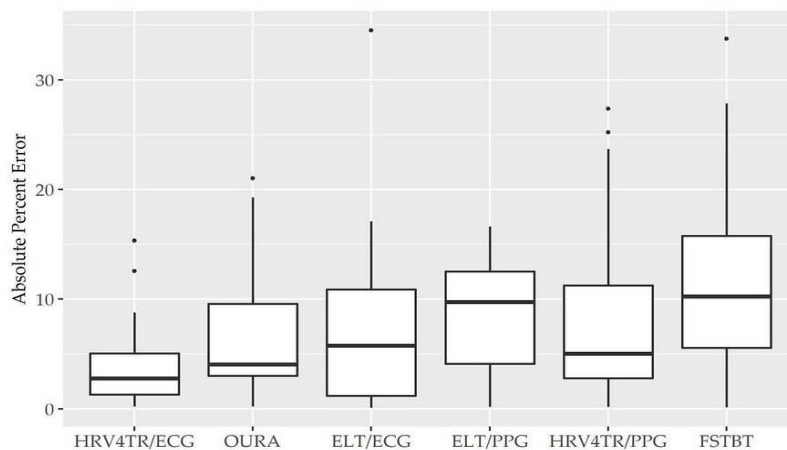


Figura 6. Gràfic de caixes del percentatge absolut d'error (APE) per als dispositius 'comercial-off-the-shelf' (COTS) que han informat de l'rMSSD com a indicador de la HRV. Els dispositius COTS inclosos són HRV4Training via ECG (HRV4TR/ECG), OURA SmartRing (OURA), Elite HRV via ECG (ELT/ECG), Elite HRV via PPG (ELT/PPG), HRV4Training via PPG (HRV4TR/PPG), i Firstbeat (FSTBT) [22]

2.3.1 *Fit&Health 2166 Smart Watch*

Per monitoritzar les dades biomètriques d'aquest estudi, hem utilitzat Fit&Health Smart Watch 2166, un rellotge intel·ligent de última generació que ofereix una àmplia gamma de característiques per monitoritzar la salut i l'activitat física, a través d'un sensor PPG.



Figura 7. Sensor PPG del Fit&Health 2166 Smart Watch

Les dades biomètriques que aquest enregistra i poden ser útils per a l'anàlisi de l'estrès psicològic són:

- **Electrocardiograma (ECG):** Registra l'activitat elèctrica del cor, proporcionant dades valuoses sobre la salut cardíaca de l'usuari.
- **Monitoratge d'Oxigen en Sang (SpO2):** Indicador important de la salut pulmonar. Els nivells baixos d'SpO2 poden ser un signe de problemes respiratoris, que poden estar relacionats amb l'estrès.
- **Monitoratge de Temperatura Corporal:** Útil per detectar canvis en la temperatura corporal que poden estar relacionats amb l'estrès. Un augment de la temperatura corporal pot ser un signe de resposta al estrès.
- **24H Control Ritme Cardíac:** Proporcionant constantment dades sobre la freqüència cardíaca que poden estar relacionades amb l'estrès. Un ritme cardíac elevat o irregular pot ser un signe de estrès.
- **Automonitorització del son:** Rastreja els patrons de son de l'usuari, proporcionant informació sobre la qualitat i la durada del son que poden estar afectades per l'estrès.



Figura 8. Fit&Health 2166 Smart Watch

És important destacar que l'estrès calculat pel rellotge Fit&Health Smart Watch 2166 és només estrès físic. No obstant això, amb aquest treball el que pretenem és millorar aquest càlcul. L'objectiu és desenvolupar un mètode més complet i precís que tingui en compte tant l'estrès físic com el psicològic, proporcionant una imatge més completa del benestar de l'individu.

2.4 The Brick Experience

'The Brick Experience', liderat per la Dra. Neus Martínez, és un projecte de coaching empresarial que implementa la metodologia LEGO® SERIOUS PLAY® per a la millora de la comunicació, la col·laboració en equip i les competències interpersonals en l'àmbit laboral. Aquest enfocament innovador promou la reflexió crítica i el diàleg constructiu a través de l'ús interactiu de les peces de LEGO® [6].

La metodologia LEGO® SERIOUS PLAY® és una estratègia pedagògica que fomenta la innovació i l'optimització del rendiment empresarial. Es basa en l'aprenentatge actiu, on les mans i la ment estan involucrades, facilitant una comprensió més profunda i contextualitzada de la realitat. En les sessions facilitades, els participants construeixen models tridimensionals amb peces de LEGO® en resposta a preguntes formulades pel facilitador. Aquests models tridimensionals esdevenen la base per a la discussió grupal, la compartició de coneixements, la resolució de problemes i la presa de decisions. Promou un intercanvi d'idees obert i sincer, i parteix del principi que tots els participants poden aportar al debat, a la presa de decisions i als resultats finals. Les peces de LEGO® actuen com a catalitzadors, s'utilitzen per construir metàfores i desencadenen processos de reflexió [24].

Els participants finalitzen el taller amb habilitats millorades per a la comunicació efectiva, la connexió amb la seva creativitat, i un major grau de confiança, compromís i visió en el seu treball. Així, es configura com una eina potent per a la construcció de resultats significatius i la transformació de la percepció i el coneixement en compromís i objectius compartits [6].

Durant aquestes sessions estructurades, es recullen dades a través d'un Smartwatch que registra l'estrès psicològic dels participants en un entorn controlat. Aquestes dades inclouen la variabilitat de la freqüència cardíaca (HRV) i els nivells d'estrès, les quals són valuoses per a l'anàlisi de l'impacte de l'estrès psicològic.

2.4.1 Estructura de les Sessions

Les sessions de 'The Brick Experience' estan estructurades de manera sistemàtica per garantir un procés de reflexió i aprenentatge efectiu. Cada sessió es divideix en dos blocs de dues hores, cadascun compost per diverses preguntes que segueixen una seqüència específica de quatre moments clau:

1. **Formulació de la Pregunta:** El facilitador presenta una pregunta que servirà de base per a la construcció i la discussió posterior. Aquesta pregunta està dissenyada per provocar la reflexió i estimular el pensament crític entre els participants.
2. **Construcció de la Resposta:** Els participants utilitzen peces de LEGO® per construir models tridimensionals que representin les seves respostes a la pregunta

formulada. Aquesta fase permet als participants expressar idees i conceptes abstractes de manera tangible i visual.

3. **Compartir:** Un cop construïts els models, els participants comparteixen les seves creacions amb el grup. Cada participant explica el significat del seu model i com respon a la pregunta plantejada. Aquesta etapa facilita l'intercanvi d'idees i perspectives, enriquint la comprensió col·lectiva.
4. **Reflexió:** Finalment, es dedica temps a la reflexió sobre els models construïts i les discussions generades. Els participants consideren les implicacions de les seves respostes i com aquestes poden aplicar-se a situacions reals en l'àmbit laboral. Aquesta fase de reflexió és crucial per consolidar l'aprenentatge i identificar accions concretes per al futur.

En la següent il·lustració, es mostra una línia temporal amb l'estructura del projecte i els moments de les preguntes diferenciats per colors: Formular (roig), Construir (verd), Compartir (lila), Reflexió (groc).

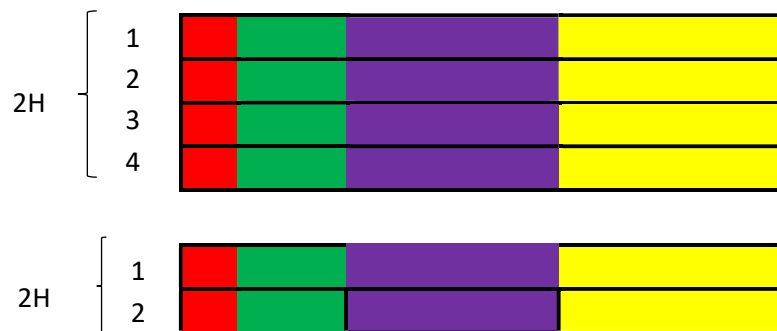


Figura 9. Ordre temporal de l'estructura de les sessions 'The Brick Experience'

Per tal de documentar amb precisió el moment exacte de cada part dins de la pregunta, s'ha desenvolupat una aplicació mòbil, amb quatre botons corresponents a cada moment (Formular, Construir, Compartir, Reflexió), figura 22. Aquesta aplicació permet als facilitadors marcar quin apartat estan tractant en cada moment i valorar qualsevol fet rellevant amb els participants (nerviosisme, tristesa, fúria...). Això ajuda a mantenir un registre detallat del desenvolupament de les sessions i avaluar l'eficàcia de cada fase del procés.

2.4.2 Recollida de Dades Biomètriques

Durant aquestes sessions estructurades, es recullen dades a través d'un Smartwatch que registra el HRV dels participants en un entorn controlat. Aquestes dades són valuoses per a l'anàlisi de l'impacte de l'estrès psicològic i la seva comparació amb altres conjunts de dades

disponibles. Això permet una avaluació més completa de com influeix l'estrès psicològic en els individus.

2.5 Model Aprenentatge Automàtic: RandomForest

RandomForest, o Bosc Aleatori, és un algorisme d'aprenentatge supervisat per a classificació i regressió. Va ser introduït per Leo Breiman el 2001 com una millora dels arbres de decisió individuals, que sovint es sobreajusten a les dades d'entrenament [25].

El model de RandomForest és una tècnica d'aprenentatge automàtic que s'utilitza per la seva capacitat de manejar dades complexes i la seva robustesa contra el sobre ajust [25]. En l'anàlisi de l'estrès psicològic a partir de dades biomètriques d'un Smartwatch, aquest model resulta útil.

L'algorisme construeix múltiples arbres de decisió i produeix la classe més comuna (classificació) o la mitjana de les prediccions (regressió) d'aquests arbres, millorant la precisió i reduint la variància [25]. El seu funcionament és el següent:

1. **Generació de Mostres 'Bootstrap':** Es creen múltiples subconjunts de dades d'entrenament mitjançant mostreig amb reemplaçament (bootstrap sampling). Cada arbre s'entrena amb una d'aquestes mostres, introduint diversitat entre els arbres [25].
2. **Selecció de Característiques:** Per a cada node, en lloc de considerar totes les característiques possibles, es selecciona aleatòriament un subconjunt de característiques per trobar la millor divisió només dins d'aquest subconjunt, reduint la correlació entre els arbres i millorant la generalització del model [25].
3. **Construcció d'Arbres de Decisió:** Cada arbre es construeix fins al major grau possible sense podar. Això significa que els arbres poden ser molt profunds i complexos, la qual cosa pot resultar en sobreajust si es considera un únic arbre. No obstant això, en fer la mitja de múltiples arbres, el bosc aleatori mitiga aquest efecte [25].
4. **Agregació de Prediccions:** Cada arbre fa una predicció i aquestes prediccions es combinen. En el cas de la classificació, es pren la classe més freqüent (votació per majoria), i en el cas de la regressió, es pren la mitja de les prediccions [25].

És a dir, aquest mètode és beneficiós per reduir el risc de sobreajustament en fer la mitja de múltiples arbres. És adequat per tractar dades amb moltes característiques i relacions no lineals, i proporciona una mesura de la importància de cada característica. A més, és útil per la seva fàcil interpretació.

Per a l'anàlisi de l'estrès psicològic a partir de dades biomètriques obtingudes d'un Smartwatch, el model de RandomForest s'adapta bé a causa de la seva capacitat per la integritat de múltiples variables, capacitat de maneig de dades complexes i generar models interpretables, així doncs permet avaluar la importància de cada variable biomètrica [26].

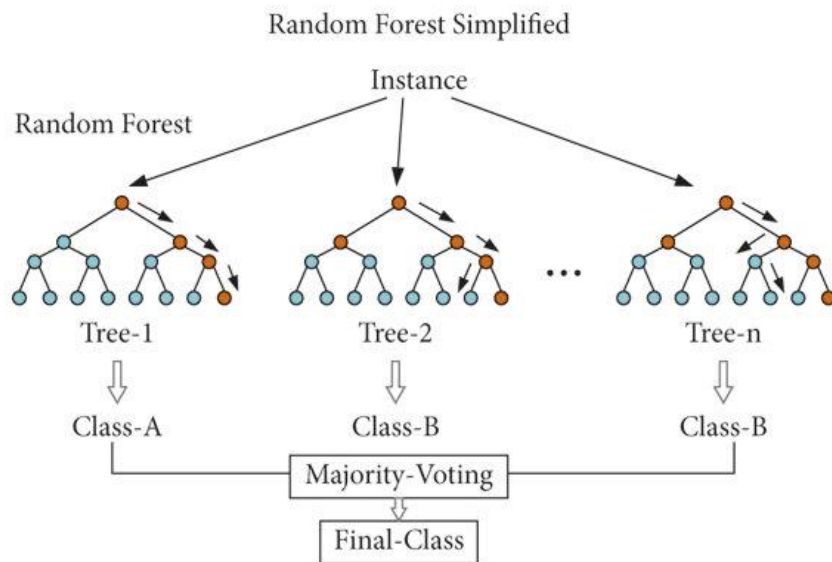


Figura 10. Representació esquemàtica del model RandomForest [26]

3 Referències

- [1] Can, Y. S., Chalabianloo, N., Ekiz, D., & Ersoy, C. (2019). Continuous Stress Detection Using Wearable Sensors in Real Life: Algorithmic Programming Contest Case Study. *Sensors*, 19(8), 1849. <https://doi.org/10.3390/s19081849>
- [2] Hickey, B. A., Chalmers, T., Newton, P., Lin, C. T., Sibbritt, D., McLachlan, C. S., Clifton-Bligh, R., Morley, J., & Lal, S. (2021). Smart Devices and Wearable Technologies to Detect and Monitor Mental Health Conditions and Stress: A Systematic Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 21(10), 3461. <https://doi.org/10.3390/s21103461>
- [3] Georgiou, K., Larentzakis, A. V., Khamis, N. N., Alsuhaibani, G. I., Alaska, Y. A., & Giallafos, E. J. (2018). Can Wearable Devices Accurately Measure Heart Rate Variability? A Systematic Review. *Folia medica*, 60(1), 7–20. <https://doi.org/10.2478/foimed-2018-0012>
- [4] Immanuel, S., Teferra, M. N., Baumert, M., & Bidargaddi, N. (2023). Heart Rate Variability for Evaluating Psychological Stress Changes in Healthy Adults: A Scoping Review. *Neuropsychobiology*, 82(4), 187–202. <https://doi.org/10.1159/000530376>
- [5] Lane, P. (2024, April 21). How stress impacts daily life and what we can do about it. *Psychology Today*. <https://www.psychologytoday.com/us/blog/am-i-dying/202404/how-stress-impacts-daily-life-and-what-we-can-do-about-it>
- [6] Quiénes somos – The Brick Experience. (s. f.). <https://thebrickexperience.com/quienes-somos/>
- [7] Schüler, R. S. (1980). Definition and conceptualization of stress in organizations. *Organizational Behavior and Human Performance*, 25(2), 184–215. [https://doi.org/10.1016/0030-5073\(80\)90063-x](https://doi.org/10.1016/0030-5073(80)90063-x)
- [8] Cohen, S., Janicki-Deverts, D., & Miller, G. E. (2007). Psychological stress and disease. *JAMA*, 298(14), 1685. <https://doi.org/10.1001/jama.298.14.1685>
- [9] Pattu, P. C. P. (2023, September 26). How to manage psychological stress? <https://www.icliniq.com/articles/emotional-and-mental-health/psychological-stress>
- [10] Christensen, J., Wild, H. M., Kenzie, E. S., Wakeland, W. W., Budding, D. E., & Lillas, C. (2020). Diverse autonomic nervous system stress response patterns in childhood sensory modulation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnint.2020.00006>
- [11] Tiwari, R., Kumar, R., Malik, S., Raj, T., & Kumar, P. (2021). Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability. *Current cardiology reviews*, 17(5), e160721189770. <https://doi.org/10.2174/1573403X16999201231203854>
- [12] What is Heart Rate Variability (HRV) & why does it matter? | Firstbeat Blog. (2024, 7 mayo). Firstbeat. <https://www.firstbeat.com/en/blog/what-is-heart-rate-variability-hrv/>
- [13] Oh, J., Lee, H., & Park, H. (2021). Effects on heart rate variability of stress level responses to the properties of indoor environmental colors: a preliminary study. *International Journal of Environmental Research and Public Health/International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9136. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179136>
- [14] Natarajan, A., Pantelopoulos, A., Emir-Farinas, H., & Natarajan, P. (2020). Heart rate variability with photoplethysmography in 8 million individuals: a cross-sectional study. *The Lancet. Digital Health*, 2(12), e650–e657. [https://doi.org/10.1016/s2589-7500\(20\)30246-6](https://doi.org/10.1016/s2589-7500(20)30246-6)
- [15] mindbodygreen. (2023, 26 octubre). What's a healthy HRV? Here's how to raise yours by up to 50%. Mindbodygreen. <https://www.mindbodygreen.com/articles/heart-rate-variability-chart>
- [16] Natarajan, A., Pantelopoulos, A., Emir-Farinas, H., & Natarajan, P. (2020). Heart rate variability with photoplethysmography in 8 million individuals: a cross-sectional study. *The Lancet. Digital Health*, 2(12), e650–e657. [https://doi.org/10.1016/s2589-7500\(20\)30246-6](https://doi.org/10.1016/s2589-7500(20)30246-6)
- [17] Wang, W., Zhou, L., Hu, Q., Gao, Y., Wei, Y., Tang, X., Hu, Y., Xu, L., Liu, H., Wang, Z., Chen, T., Li, C., Wu, H., Wang, J., & Zhang, T. (2024). Correlative relationship between body mass index and heart rate variability

- in psychiatric disorders. *European Archives Of Psychiatry And Clinical Neuroscience*. <https://doi.org/10.1007/s00406-024-01768-1>
- [18] Kansal, H. (2023, August 2). How does a smartwatch measure heart rate? Check accuracy! *wearablestouse.com*. <https://wearablestouse.com/blog/2023/08/02/smart-watch-heart-rate-sensor-working/>
- [19] Chalmers, T. A., Hickey, B. A., Newton, P. J., Lin, C., Sibbritt, D., McLachlan, C. S., Clifton-Bligh, R., Morley, J. W., & Lal, S. (2021). Stress Watch: The Use of Heart Rate and Heart Rate Variability to Detect Stress: A Pilot Study Using Smart Watch Wearables. *Sensors*, 22(1), 151. <https://doi.org/10.3390/s22010151>
- [20] DeGiorgio, C. M., Miller, P., Meymandi, S., Chin, A., Epps, J., Gordon, S., Gornbein, J., & Harper, R. M. (2010). RMSSD, a measure of vagus-mediated heart rate variability, is associated with risk factors for SUDEP: the SUDEP-7 Inventory. *Epilepsy & behavior: E&B*, 19(1), 78–81. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2010.06.011>
- [21] Farnsworth, B. (2024, April 17). Heart rate variability - How to analyze ECG data - iMotions. *iMotions*. <https://imotions.com/blog/learning/best-practice/heart-rate-variability/>
- [22] Altini, M. (2024, 30 enero). The Ultimate Guide to Heart Rate Variability (HRV): Part 1. *Medium*. https://medium.com/@altini_marco/the-ultimate-guide-to-heart-rate-variability-hrv-part-1-70a0a392fff4
- [23] TickTock, & TickTock. (2020, March 5). How do smartwatches measure heart rate (HR)? - WatchRanker. *WatchRanker*. <https://watchranker.com/how-do-smartwatches-fitness-trackers-measure-heart-rate/>
- [24] The LEGO® Group. (s. f.). The LEGO® Group. <https://www.lego.com/es-es/themes/serious-play/about>
- [25] Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/a:1010933404324>
- [26] Ren, L., & Cao, S. (2022). Application of Feature Selection Based on Elastic Network and Random Forest in the Evaluation of Sports Effects. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/360831728_Application_of_Feature_Selection_Based_on_Elastic_Network_and_Random_Forest_in_the_Evaluation_of_Sports_Effects/figures?lo=1