UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TESIS DOCTORAL

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Memoria presentada por

David Antonio Rosas Espín
para optar al grado de Doctor
por la Universidad Internacional de La Rioja

Dirigida por los Doctores:

Daniel Burgos
y
Natalia Padilla-Zea

Logroño, 2023

Agradecimientos

Quiero agradecer, en primer lugar, a la Universidad Internacional de la Rioja, por su decidido apoyo en esta aventura de conocimiento, pues me concedió una Beca de Excelencia y adquirió los equipos necesarios para la misma, sin lo cual, no hubiese sido posible realizar esta tesis.

Al Dr. Daniel Burgos, por apoyarme desde que presentase mi candidatura, quien a la postre ha sido mi director de tesis, junto a la Dra. Natalia Padilla-Zea (también mi tutora), por su dedicación y calidad humana.

A la Escuela de Doctorado y a quienes forman parte de UNIR iTED, por su ayuda incondicional.

Al Dr. Ing. Fernando López, por sus excelentes seminarios sobre estadística, a mi mentora UNIR, María España, a quienes participaron en la Oficina de Soporte Doctoral y a mi compañero de fatigas, Antonio Amores Valencia, por darme aliento.

Al CEIP Natalio Rivas de Huéscar, a su directora, Teresa Egea, los tutores de los cursos de 5º y 6º de Primaria (Antonio, Chiqui, Alejandro y Trini), a las familias y, muy especialmente, al alumnado participante, por su impagable colaboración en las actividades formativas necesarias para esta investigación. También al Archivo Municipal de Huéscar por la documentación y ayuda en las salidas al medio.

Al Professor David Melnikoff, de la Universidad de Stanford, por ser quien primero nos felicitó por nuestro artículo sobre cuestionarios validados de la Teoría Flow (gracias también a mis directores por las horas extra). Encontrará un guiño a su sugerencia de estudios futuros en la sección final de esta tesis y un fuerte apoyo a su modelo matemático sobre el *flow*, en este caso, desde inexplorados contextos grupales, en el capítulo de aportaciones originales de este manuscrito.

Finalmente, a mi esposa, hija, hermanos, familia y amigos, por aguantarme tantas charlas sobre el *flow* (este agradecimiento se hace extensivo a mis queridos directores) y disculparme las ausencias.

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Resumen.

Esta tesis doctoral se centra en la Teoría Flow. Se justifica por la necesidad de conocer la motivación en términos de *flow* en grupos de personas, desde perspectivas fisiológicas. Concretamente, nos preguntamos si un sistema basado en dispositivos fisiológicos ponibles y técnicas computacionales mejora los niveles de *flow* y los rendimientos educativos en grupos escolares presenciales de Educación Primaria. Para ello, estudiamos 4 grupos-clase que participaron en proyectos STEAM, empleando Investigación-Acción, mediante un diseño cuasiexperimental de enfoque mixto, con pretest y postest, dos grupos de control y dos experimentales. Así, desarrollamos un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF), basado en dispositivos fisiológicos portátiles y modelos matemáticos. Este sistema, estima el absortamiento cognitivo y la motivación en escala EduFlow de los grupos, en base al ritmo cardiaco, y hace recomendaciones al docente, tras 5 minutos lectivos.

Encontramos que el SATEF mejora el estado del arte en la correlación fisiológica de las escalas de *flow*. Asimismo, en las experiencias realizadas, eliminó el fracaso académico, aumentaron los niveles de *flow* y mejoraron las calificaciones grupales. Además, demostramos que las escalas EduFlow y FKS presentan un correlato fisiológico con diversos parámetros cardiacos grupales. También, que la motivación producida por la vivencia o ausencia de estados de *flow* opera como una expectativa grupal generada en los minutos iniciales de las sesiones y decrece conforme avanzan. Además, demostramos que el docente maneja los grupos escolares en términos metacognitivos de *flow*. Igualmente, que el axioma del equilibrio entre competencias y retos de las tareas se justifica para los grupos mediante técnicas de análisis de datos no lineales. Finalmente, resolvemos la controversia sobre la correlación (positiva, negativa o nula) entre el ritmo cardiaco y las escalas de *flow*. Ello sugiere cambios conceptuales en la Teoría Flow y la necesidad de posteriores estudios.

Palabras clave

Teoría Flow, SATEF, dispositivos portátiles, API de RestFul, HRV, STEAM

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Abstract

This doctoral thesis focuses on the Flow Theory. It is justified by the need to understand motivation in terms of flow within groups of individuals, from physiological perspectives. Specifically, we question whether a system based on wearable physiological devices and computational techniques enhances flow levels and educational performance in face-to-face groups of primary school students. To do so, we studied four classroom groups that participated in STEAM projects, employing Action Research through a quasi-experimental mixed-methods design, with pretests and posttests, two control groups, and two experimental groups. Thus, we developed a Flow Expectation Early Warning System (SATEF), based on wearable physiological devices and mathematical models. This system estimates the cognitive absorption and the motivation on the EduFlow scale of the groups, based on the heart rate, and suggests recommendations to the teacher, after 5 teaching minutes.

We found that the SATEF improves the state of the art on the physiological correlation of the flow scales. Likewise, it eliminated academic failure, increased flow levels and improved group grades. In addition, we demonstrate that the EduFlow and FKS scales show a physiological correlate with various group cardiac parameters. Also, that the motivation produced by the experience or absence of flow states, operates as a group expectation generated in the initial minutes of the sessions and decreases as they progress. Also, that the teacher manages the school groups in metacognitive terms of flow. Likewise, that the axiom of the balance between competences and task challenges is justified for the groups through non-linear data analysis techniques. Finally, we resolve the controversy about the correlation (positive, negative, or null) between heart rate and flow scales. This suggests conceptual changes in the Flow Theory and the need for further studies.

Keywords

Flow Theory, SATEF, Wearables, RESTful API, HRV, STEAM

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PARTE I. INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN. 1

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. 3
1.1. Fundamentos teóricos. 3
1.1.1. Definiciones del término *flow* o experiencias óptimas. 3
1.1.2. Antecedentes de la Teoría Flow. 5
1.1.3. Principales axiomas de la Teoría Flow. 7
1.1.4. El marco STEAM. 8
1.2. Antecedentes de esta investigación. 10
1.3. Justificación de la investigación. 12
1.4. Hipótesis. 13
1.5. Objetivos. 14
1.5.1. Objetivo general. 14
1.5.2. Objetivos específicos. 14
1.6. Metodología. 15
1.7. Métodos de investigación en la Teoría Flow. 19
1.8. Estructura de la tesis. 20

PARTE II. ESTADO DEL ARTE. 23

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DEL FLOW. 25
2.1. Consideraciones metodológicas comunes sobre análisis de contenido mediante Teoría Fundamentada. 25
2.2. Metodología sistemática de revisión de métodos de medida del flow basados en cuestionarios. 27
2.2.1. Fase 1: búsqueda de artículos que no sean revisiones sistemáticas. 28
2.2.2. Fase 2: búsqueda sistemática de revisiones sistemáticas. 29
2.2.3. Fase 3: búsqueda sistemática de monografías. 30
2.2.4. Fase 4: extracción sistemática de métodos y referencias con Teoría Fundamentada y búsqueda recursiva de referencias. 30
2.2.5. Fase 5: extracción sistemática de dimensiones del flow con Teoría Fundamentada. 31
2.2.6. Fase 6: evaluación de calidad de los artículos (MMAT). 31
2.2.7. Fase 7: elaboración de resúmenes tabulares. 31
2.2.8. Fase 8: evaluación de la reproducibilidad 31
2.3. Perspectiva fenomenológica. 32
2.4. Métodos de medida del flow basados en cuestionarios. 32
2.4.1. Métodos de estudio del flow basados en cuestionarios en inglés. 32
2.5. Dimensiones de las experiencias de flow evaluadas mediante cuestionarios. 40
2.6. Limitaciones de uso de los cuestionarios de flow según su proceso de desarrollo y validación. 45
2.7. Sumario sobre métodos de medida del flow basados en cuestionarios. 50
2.8. Métodos fisiológicos. 52

CAPÍTULO 3. MODELOS DE LA TEORÍA FLOW. 61
3.1. Modelos Bidimensionales. 61
3.1.1. Modelo del canal o de los tres cuadrantes. 61
3.1.2. Modelo de los cuatro cuadrantes. 64
3.1.3. Modelo de ocho sectores (EFM). 66
3.1.4. Problemas comunes encontrados en los modelos de cuadrantes. 69
3.2.1. Modelos de regresión 70
3.2.2. Modelos componenciales no temporales. 71
3.2.3. Modelos componenciales en etapas o causales. 73

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE. 79

4.1. Conclusiones generales sobre el estado del arte....79
4.2. Conclusiones sobre los modelos de la Teoría Flow....80
4.3. Identificación de áreas de investigación en el estado del arte sobre la Teoría Flow. 81

PARTE III. IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA....87

CAPÍTULO 5. CONSIDERACIONES ÉTICAS....89

CAPÍTULO 6. PRIMER CICLO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN (Grupos de control)....91
6.1. Diseño del primer ciclo de Investigación-Acción. 91
6.2. Implementación del primer ciclo de Investigación-Acción en las aulas. 93
6.2.1. Justificación de las técnicas de estudio de la variabilidad del ritmo cardiaco empleadas. 93
6.2.2. Datos cardiacos extraídos. 95
6.2.3. Test de Felder-Silverman. 96
6.2.4. Swedish Flow Proneness Questionnaire (SFPQ)....97
6.2.5. Escala EduFlow. 97
6.2.6. Flow Kurtz Scale. 98
6.2.7. Entrevistas. 99
6.2.8. Exámenes de conocimientos (pretest-postest). 99
6.2.9. Diario del Profesor. 99
6.2.10. Hojas de asistencia. 100
6.2.11. Diseños instruccionales en formato SCORM. 100
6.2.12. Panel de Control. 102
6.2.13. Sistemas de registro de parámetros HRV basados en fotopletismografía. 103
6.2.14. Sistemas de registro de datos, filtrado y extracción de parámetros basados en electrocardiografía ponible para los grupos de control. 104
6.2.15. Selección de participantes del primer ciclo de Investigación-Acción. 107
6.2.16. Cronograma de actuaciones y secuencia instruccional. 108
6.2.17. Desarrollo de las sesiones de clase. 109
6.3. Resultados del primer ciclo de investigación-acción (grupos de control). 111
6.3.1. Validación de las escalas FKS y EduFlow y de sus dimensiones. 111
6.3.2. Resultados pretest: conocimientos iniciales, propensión al flow y estilo de aprendizaje en los grupos de control. 118
6.3.3. Resultados de los grupos de control en la fase de docencia. 120
6.4. Discusión de resultados de los grupos de control. 124
6.4.1. Discusión de resultados de las entrevistas en los grupos de control. 125
6.4.2. Discusión del rendimiento educativo en los grupos de control. 130
6.4.3. Validación electrocardiológica de las escalas FKS y EduFlow en grupos escolares presenciales. 132
6.4.4. Discusión de la concordancia entre cuestionarios del alumnado y los del profesor. 137
6.5. Toma de decisiones tras el primer ciclo de Investigación-Acción. 140

CAPÍTULO 7. SEGUNDO CICLO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN (Grupos experimentales). 143
7.1. Diseño del segundo ciclo de Investigación-Acción. 143
7.2. Implementación del segundo ciclo de Investigación-Acción. 145
7.2.1. Herramientas e instrumentos heredados del primer ciclo de Investigación-Acción. 145
7.2.2. Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF). 145
7.2.3. Descripción del panel de control del SATEF. 154
7.2.4. Componentes del SATEF. 155
7.2.5. Juego de relajación “Masters of flow”. 157
7.2.6. Diario de clase. 157
7.2.7. Participantes del segundo ciclo de Investigación-Acción. 157
7.2.8. Cronograma de actuaciones y secuencia instruccional del segundo ciclo de Investigación-Acción. 158
7.2.9. Desarrollo de las sesiones de clase. 158

7.3. Resultados del segundo ciclo de Investigación-Acción. 159
7.3.1. Resultados pretest: conocimientos iniciales, propensión al flow (SFPQ) y estilo de aprendizaje en los grupos experimentales. 159
7.3.2. Resultados en los grupos experimentales en la fase de docencia. 161
7.4. Discusión de resultados del segundo ciclo de investigación-acción (grupos experimentales). 165
7.4.1. Valoración del rendimiento educativo en los grupos experimentales. 165
7.4.2. Discusión de resultados obtenidos del Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF). 166

CAPÍTULO 8. RETROSPECTIVA DE LOS DOS CICLOS DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN. 172
8.1. Discusión de resultados grupales de las escalas y EduFlow en los grupos experimentales frente a los de control. 172
8.2. Discusión comparada de los resultados de las entrevistas en los grupos experimentales, frente a los de control. 174
8.3. Diferencias en rendimiento educativo entre los grupos experimentales y los de control. 176
8.4. Interpretación de los resultados obtenidos con el SATEF, niveles de *flow* y rendimientos educativos, en los grupos experimentales y de control. 180
8.5. Comparativa dinámica del bienestar entre los grupos experimentales y de los de control respecto al balance en las tareas: la hipótesis del vórtice atractor. 183
8.6. La hipótesis sobre expectativas de experimentar flow. 187

PARTE IV. CONCLUSIONES. 190

CAPÍTULO 9. VERIFICACIÓN, CONTRASTE Y EVALUACIÓN DE OBJETIVOS. 192

CAPÍTULO 10. OTRAS APORTACIONES ORIGINALES. 196
10.1. La hipótesis del vórtice atractor. 196
10.2. Manejo del aula en términos de metacogniciones de *flow* 196
10.3. Signo de la correlación entre HR y escalas de *flow*. 197
10.4. El *flow* como expectativa. 197

CAPÍTULO 11. LIMITACIONES. 200

CAPÍTULO 12. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS. 202
Referencias 207

ANEXO 1. LISTA DE VERIFICACIÓN PRISMA-P (PREFERRED REPORTING ITEMS FOR SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS PROTOCOLS) 2015. 258

ANEXO 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO PRISMA 2009 261

ANEXO 3. MIXED-METHODS APPRAISAL TOOL (MMAT). 262

ANEXO 4. ARCHIVOS DE BÚSQUEDAS EN WOS EN FORMATO CSV. 272

ANEXO 5. TEST DE FELDER-SILVERMAN 273

ANEXO 6. CUESTIONARIO SFPQ. 281

ANEXO 7. CUESTIONARIOS EDUFLOW Y FKS 286

ANEXO 8. ENTREVISTAS. 289

ANEXO 9. PRUEBAS DE CONOCIMIENTOS SOBRE DISEÑO GRÁFICO 2D-3D 290

ANEXO 10. PRUEBAS DE CONOCIMIENTOS DE ROBÓTICA EDUCATIVA. 293

ANEXO 11. NOMENCLATURA DE LOS PARÁMETROS EXTRAÍDOS POR KUBIOS Y SU SIGNIFICADO FISIOLÓGICO. 295

ANEXO 12. CONFIGURACIÓN DE KUBIOS. 301

ANEXO 13. CORRELACIONES RHO DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE ESCALA EDUFLOW Y SUS DIMENSIONES CON LOS PARÁMETROS HRV PARA TODAS LAS SESIONES DE LOS GRUPOS DE CONTROL TRAS LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1). 302

ANEXO 14. RESUMEN DE LA TABLA DEL ANEXO C, EN DONDE SE HAN DADO CORRELACIONES ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS, SEPARADOS POR DIMENSIONES, PARA LA ESCALA EDUFLOW. 305

ANEXO 15. RESUMEN DE LA TABLA DEL ANEXO 13, EN DONDE SE HAN DADO CORRELACIONES ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS, SEPARADOS POR DIMENSIONES, PARA LA ESCALA FKS. 308

ANEXO 16. CORRELACIONES RHO DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE ESCALA FKS Y SUS DIMENSIONES CON LOS PARÁMETROS HRV PARA LOS GRUPOS DE CONTROL TRAS LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1). 311

ANEXO 17. MAPAS DE COLOR DE CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DIMENSIONES DE LAS ESCALAS EDUFLOW Y FKS POR TEMÁTICAS STEAM EN LOS GRUPOS DE CONTROL DURANTE LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1). 314

ANEXO 18. MAPAS DE COLOR DE CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DIMENSIONES DE LAS ESCALAS EDUFLOW Y FKS POR SESIONES STEAM EN LOS GRUPOS DE CONTROL DURANTE LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1). 316

ANEXO 19. DISPONIBILIDAD DE CÓDIGOS DE EJEMPLO EXPERIMENTALES 316

ANEXO 20. GLOSARIO DE ABREVIATURAS 316

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Ejemplo de subcategorías, códigos y definiciones generados en el libro de códigos para la escala FPS…..**26**

Tabla 2.2. Resumen de PICOS 4**.....30**

Tabla 2.3. Cuestionarios que no cumplen los criterios PICOS 4, con su motivación**.....40**

Tabla 2.4. Resumen de contextos y dimensiones de cada cuestionario de flow**.....41**

Tabla 2.5. Resumen de limitaciones declaradas de cada cuestionario, extraídas con Teoría Fundamentada, las referencias y fuentes de información**.....47**

Tabla 2.6. Resumen tabular de los trabajos sobre fisiología del flow analizados**.....55**

Tabla 2.7. Resumen de preguntas y respuestas recogidas en los dos ESF que se muestran como ejemplo en Csikszentmihaly (1992, p.255-258).**.....63**

Tabla 2.8. Canales del modelo EFM tal y como los define Csikszentmihalyi (1990) **.....66**

Tabla 3.1. Categorías, subcategorías y rangos para los estilos de aprendizaje según el test de Felder-Silverman**.....96**

Tabla 3.2. Resumen de participantes por edades en los grupos de control. **.....108**

Tabla 3.3. Resumen de secuencias instruccionales por temáticas para los grupos de 5º y 6º curso de Educación Primaria**.....108**

Tabla 3.4. Descripción estadística de los participantes en el estudio por grupos de trabajo **.....112**

Tabla 3.5. Resultado de las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para las escalas EduFlow y FKS, expresadas como sumas de sus ítems **.....114**

Tabla 3.6. Cohesión interna de los ítems de los cuestionarios EduFlow y FKS, determinada mediante α-Cronbach…..**114**

Tabla 3.7. Correlación de Pearson entre las escalas EduFlow y FKS, y su nivel de significatividad **.....115**

Tabla 3.8.. Correlaciones no paramétricas entre las escalas EduFlow y FKS, y su nivel de significatividad, por medio de los estadísticos Tau-b de Kendall y Rho de Spearman **.....115**

Tabla 3.9. Resultados de un ACP de 4 factores para la escala EduFLow.**.....116**

Tabla 3.10. Resultados de un ACP de 4 factores para la escala FKS. **.....118**

Tabla 3.11. Resultados del test SFPQ en los grupos de control, con sus puntuaciones por ámbitos y medias (SFPQ score), así como su resultado normalizado en Z **.....119**

Tabla 3.12. Asistencia del alumnado que lleva reloj en los grupos de control por temáticas**.....122**

Tabla 3.13. Preguntas de las entrevistas al alumnado y la intención con la que se formularon**.....125**

Tabla 3.14. Contrastes de hipótesis mediante la prueba U de Mann-Whitney para conocer si hay diferencias en el porcentaje de respuesta “muy importante” por temáticas en lo grupos de control **...128**

Tabla 3.15. Resultados de las pruebas U de Mann-Whitney sobre la variable valoración en los grupos N5_1_2D, N5_1_3D y N6_1_R **130**

Tabla 3.16. Resultados de las pruebas U de Mann-Whitney sobre la variable calificaciones entre los grupos N5_1_2D, N5_1_3D y N6_1_R **131**

Tabla 3.17. Dimensiones de las escalas EduFlow (D), FKS- (F) y para evaluar el ajuste de las tareas (A) **132**

Tabla 3.18. Pruebas de normalidad de las escalas de flow y sus dimensiones o características (FKS-13 y Eduflow) **133**

Tabla 3.19. Correlaciones de Spearman y significatividad entre D1, Eduflow y el ritmo cardiaco medio **135**

Tabla 3.20. Medias grupales de las características del modelo para construir el SATEF, tras la primera sección de 5 minutos de todas las sesiones de clase en los grupos de control **137**

Tabla 3.21. Resultados del análisis clúster mediante la técnica K-medias, eliminando puntos experimentales donde no se verifica flow o es muy bajo **137**

Tabla 3.22. Valores límite usados por el SATEF para clasificar fenomenológicamente el estado de la clase y ecuaciones para estimar el flow (% EduFlow) y el absortamiento cognitivo (%D1) **137**

Tabla 4.23. Código de colores y recomendaciones del SATEF **137**

Tabla 3.24. Resumen de participantes por edades en los grupos de control **157**

Tabla 3.25. Resultados del test SFPQ en los grupos experimentales. **160**

Tabla 3.26. Resumen de las capturas de pantalla del SATEF. **162**

Tabla 3.27. Asistencia del alumnado que lleva reloj en los grupos de control por temáticas. **164**

Tabla 3.28. Comparativa de resultados en los exámenes postest entre los grupos experimentales **165**

Tabla 3.29. Resumen de datos del SATEF tras el primer tamo de 5 minutos de clase por sesiones y de las escalas EduFlow, al finalizarlas **166**

Tabla 3.30. Porcentajes medios grupales de flow declarados como escala EduFlow y Absortamiento cognitivo (D1) en los 4 grupos investigados, y sus desviaciones estándar **172**

Tabla 3.31. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk de la variable calificaciones en los grupos experimentales y de control. **178**

Tabla 3.32. Resultados de la prueba t de Student para comparar las calificaciones medias entre el grupo experimental con el de control sobre robótica **178**

Tabla 3.33. Comparativa por sesiones en los grupos de control y experimentales entre las variables media grupal del ritmo cardiaco medio de los sujetos (HRg) y el porcentaje medio de flow manifestado en escalas EduFlow (%Flow) **181**

Tabla 3.34. Medias grupales y desviación estándar de la variable A3 por sesiones y grupos de estudio **185**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Antecedentes de la Teoría Flow y su relación con otras teorías de la Motivación 7

Figura 2.1. Esquema de la metodología de análisis de contenido de este trabajo mediante Teoría Fundamentada, siguiendo a Charmaz (2006) 27

Figura 2.2. Diagrama de flujo del método de revisión sistemática aplicado. 28

Figura 2.3. Izquierda: Modelo de Lang (1993). Derecha: Modelo Circumplejo del Afecto (Posner, Russell & Peterson, 2005) 53

Figura 2.4. Modelo del canal de flow. 62

Figura 2.5. Representación de un "Flow-path" o curva de flow. 63

Figura 2.6. Modelo de los 4 cuadrantes de Csikszentmihalyi (1992, p.261) que adaptó de Massimini & Carli (1986)…….65

Figura 2.7. Modelo de 8 canales. 66

Figura 2.8. Distribución en un modelo de 8 cuadrantes de los valores Z medios de las dimensiones motivación, activación, afecto y eficacia cognitiva según las variables reto y capacidad 67

Figura 2.9. Modelo de Moral-Bofill et al. (2020) sobre flow en el deporte, la música y la educación....71

Figura 2.10. Modelo de Agarwal & Karahanna (2000) sobre flow en el uso de entornos web 72

Figura 2.11. Ecuaciones estructurales del modelo EduFlow, en entornos presenciales de aprendizaje (izquierda) y MOOCS (derecha), según Heutte et al. (2014a) 73

Figura 2.12. Modelo de flow multicomponencial en etapas 74

Figura 2.13. Alternativas reflexivas (A) y formativa (B) de un modelo multidimensional de flow en comercio electrónico 75

Figura 2.14. Modelo de flow en contextos de uso de software 76

Figura 2.15. Modelo de flow en contextos mediados por computador (navegación hipermedia) 76

Figura 2.16. Modelo PAT. Traducido de Finneran & Zang (2003, p. 479) 77

Figura 3.1. Representación esquemática de un ciclo de investigación-acción. 87

Figura 3.2. Protocolo de colocación de bandas deportivas polar H10. Elaboración propia. 90

Figura 3.3. Representación esquemática del primer ciclo de investigación-acción. 93

Figura 3.4. Diagrama de Wiggers. 95

Figura 3.5. Captura de pantalla de los cuestionarios EduFlow y FKS creados con PHP y MySQL 99

Figura 3.6. Gradación de la dificultad de las actividades propuestas, según la taxonomía de Bloom para la era digital (Churches, 2009) 101

Figura 3.7. Captura de pantalla de la herramienta Panel de Control 103

Figura 3.8. Sistema sensor del ritmo cardiaco basado en fotopletismografía utilizado 103

Figura 3.9. Aplicación Polar H10 SDK UNIR-iTED funcionando sobre un reloj Lemfo Lem T y su banda deportiva Polar H10 asociada 105

Figura 3.10. Detalle del reloj inteligente con la aplicación Polar H10 SDK UNIR-iTED 106

Figura 3.11. Alumnado de 5º curso trabajando contenidos de Roblox Studio 110

Figura 3.12. Alumnado de sexto curso trabajando contenidos de robótica con los relojes activados . 111

Figura 3.13. Distribución de frecuencias de la suma de ítems de las escalas FKS (arriba) y EduFLow (abajo) 113

Figura 3.14. Gráfico de dispersión de las escalas EduFlow y FKS, medidas como suma de sus puntuaciones 114

Figura 3.15. Gráfico de sedimentación de la escala EduFlow 116

Figura 3.16. Gráfico de sedimentación de la escala FKS. Elaboración propia 117

Figura 3.17. Resultados del Test de Felder en los grupos de control. Se exponen los resultados para las dimensiones Visual-Verbal, Secuencial-Global, Sensitivo-Intuitivo y Activo-Reflexivo, en el sentido de las agujas del reloj 120

Figura 3.18. Arriba: Evolución por sesiones del valor medio de la escala EduFlow en los grupos de control. Abajo: Misma evolución para la escala FKS 123

Figura 3.19. Comparativa por temáticas de las cuestiones Q1, Q2, Q3 y Q4 en los grupos de control por temáticas 126

Figura 3.20. Progresividad de los cursos manifestada en las entrevistas de los grupos de control por temáticas 127

Figura 3.21. Importancia dada en las tareas a los cursos manifestada en las entrevistas de los grupos de control por temáticas. 127

Figura 3.22. Motivo de la importancia dada a las tareas en los grupos de control por temáticas. 129

Figura 3.23. Motivo de la importancia dada a las tareas en los grupos de control por temáticas. 129

Figura 3.24. Calificaciones obtenidas en cada temática en los grupos de control 131

Figura 3.25. Histogramas de frecuencias de la escala Eduflow y sus 4 dimensiones. 134

Figura 3.26. Recuento de correlaciones por niveles de significatividad y secciones lectivas de 5 minutos. Elaboración propia. 135

Figura 3.27. Recuento de correlaciones con alfa < 0.01 por tramos de sesión entre parámetros cardiacos y la dimensión D1 de la escala EduFlow (absortamiento cognitivo), donde se observa una tendencia descendente conforme avanzamos en las sesiones. 136

Figura 3.28. Coeficientes de correlación de Spearman por tramos secuenciales de 5 minutos con respecto al ritmo cardiaco, el absortamiento cognitivo y el flow medios de las sesiones de clase realizadas con los grupos de control 136

Figura 3.29. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N5_1, entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala FKS. 138

Figura 3.30. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N6_1, entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala FKS 138

Figura 3.31. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N5_1 entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala EduFlow 139

Figura 3.32. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N6_1, entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala EduFlow. 139

Figura 3.33. Representación esquemática del segundo ciclo de investigación-acción. 144

Figura 3.34. Modelo computacional en el que se basa el SATEF 147

Figura 3.35. Zonas fenomenológicas de flow definidas para el SATEF a partir de las características zFlow, zSDg y zHR, con sus iconos y código de semáforo 150

Figura 3.36. Zonas fenomenológicas de absortamiento cognitivo, definidas con las características zSDg, zD1g y zHRg 150

Figura 3.37. Clústeres obtenidos mediante el algoritmo K-medias, con las características HRg, D1g (%) y SDg (izquierda) y su gráfico de sedimentación (derecha) 151

Figura 3.38. Regresión polinómica entre las características HRg vs D1g(%), descontando valores atípicos 151

Figura 3.39. Resumen de los procesos que realiza el SATEF hasta hacer una recomendación. 152

Figura 3.40. Representación esquemática de la API de RestFul implementada 155

Figura 3.41. Esquema de funcionamiento de la API de RESTFul desarrollada para los grupos experimentales 156

Figura 3.42. Resultados del Test de Felder en los grupos de control. Se exponen los resultados para las dimensiones Visual-Verbal, Secuencial-Global, Sensitivo-Intuitivo y Activo-Reflexivo, en el sentido de las agujas del reloj. 161

Figura 3.43. Diferencia entre el flow medio grupal estimado por el SATEF tras los primeros 5 minutos de clase y el medido con cuestionarios al final, ambos como tantos por ciento de la escala EduFlow 167

Figura 3.44. Histograma de frecuencias para la diferencia de medidas entre el flow medio grupal estimado por el SATEF tras los 5 primeros minutos de cada sesión y el determinado con cuestionarios EduFlow, al final 168

Figura 3.45. Correlación entre la el ritmo cardiaco medio del alumnado durante el primer tramo de 5 minutos obtenidos con el SATEF y la media grupal de los cuestionarios EduFlow a posteriori de cada sesión 169

Figura 3.46. Correlaciones lineales obtenidas entre HRg y el flow grupal, para los grupos que practican robótica con circuitos frente al resto de módulos STEAM 170

Figura 3.47. Evolución temporal por sesiones de las medias grupales en escala EduFlow, para los grupos experimentales y de control. 173

Figura 3.48. Evolución temporal por sesiones de las medias grupales en escala EduFlow del absortamiento cognitivo, para los grupos experimentales y de control. 174

Figura 3.49. Comparativa de dimensiones del flow entre grupos por medio de entrevistas. 175

Figura 3.50. Comparativa de las razones por las que el alumnado de los grupos experimentales manifiesta participar en los cursos. 175

Figura 3.51. Comparativa de rendimientos y valoración media grupal por temáticas STEAM entre los grupos experimentales y los de control. Elaboración propia. 176

Figura 3.52. Comparativa entre grupos de control y experimentales, en cuanto a rendimiento y asistencia 180

Figura 3.53. Histograma de frecuencias de la variable Equilibrio (A3) para todos los cuestionarios de esta tesis 184

Figura 3.54. Gráfico de Poincaré para la variable A3 media por sesiones en los grupos experimentales y de control, donde se evidencia un vórtice atractor 185

Figura 3.55. Gráficos de Poincaré para la variable A3 media por sesiones en los grupos experimentales y de control 186

Figura 3.56. Redefinición de la Zona de Desarrollo Próximo de Vygotsky en el modelo del canal de flow 186

Figura 3.57. Razones de la participación del alumnado en las distintas actividades STEAM por grupos-clase, en tanto por ciento 189

PARTE I. INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.

Esta tesis doctoral, titulada "**Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles**", se enmarca en el Programa de Doctorado en Ciencias de la Computación de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). Para su desarrollo, observamos el protocolo 015/2022 del Comité de Ética de UNIR, la Declaración de Helsinki y la Ley de Protección de Datos.

Entre los motivos para desarrollarla, destacamos que **la motivación es un factor determinante en los rendimientos educativos** (Lazowski & Hulleman, 2016; Wigfield et al., 2019). Una de las micro teorías sobre la motivación más fructíferas es la Teoría Flow (Reeve, 2000), que parte de los trabajos pioneros de Csikszentmihalyi (1934 -2021), investigada en contextos educativos presenciales y virtuales, así como en el desarrollo de tecnologías digitales (Engeser & Schiepe-Tiska, 2012; Heutte et al., 2021; entre otros). Asimismo, identificamos escasos conocimientos sobre cómo opera esta teoría en grupos de personas y, también, un creciente interés por profundizar en los procesos fisiológicos que acontecen (Moneta, 2012, entre otros).

En este contexto, resaltamos que **la Teoría Flow investiga las motivaciones por las que participamos en actividades que no nos reportan un beneficio tangible ni inmediato** (Csikszentmihalyi, 1975). Ello se debe a que vivimos experiencias cumbre (Maslow, 1968) en las que existe un óptimo subjetivamente percibido entre la diversión y la perfección alcanzada en estas actividades no triviales (Csikszentmihalyi, 1975; Privette, 1983), efectuadas de manera fluida, sin esfuerzo aparente (Ullén et al., 2010). Es por ello que se denominan experiencias óptimas (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1992) y que, a ese estado psicológico placentero, se le conozca como *flow* (flujo, en español). Como consecuencia del flow, practicamos dichas actividades y mejoramos nuestro desempeño (Csikszentmihalyi, 1975; Schüler, 2012; Moneta, 2012), de ahí su interés en ámbitos educativos mediados por tecnología.

Asimismo, **existen indefiniciones y críticas a los métodos de estudio**: la subjetividad (Csikszentmihalyi, 1975), volatilidad (Jackson & Marsh, 1996), no linealidad (Pearce, Anley & Howard, 2005; entre otros), cambios de intensidad (Csikszentmihalyi, 1975; Delle Fave & Bassi, 2016), confusión con estados de humor concomitantes y antagonistas (Mansfield, et al., 2012), interdependencia con los medios utilizados (Finneran & Zhang, 2003), así como el posible solapamiento con otros estados psicológicos parecidos (Swann et al., 2012, 2022). Todas ellas hacen muy difícil e imprecisa su definición, su fin y comienzo (Kotler et al., 2022). Incluso, Swann et al. (2018) plantean si la Teoría de Flow ha llegado a un posible punto de crisis.

Debemos añadir que, hasta la fecha, los trabajos que emplean métodos fisiológicos para estudiar el *flow* suelen ser estudios de laboratorio, con sesiones de poca duración y aisladas, donde se realizan tareas cognitivamente poco complejas (c.f. Tozman & Peifer, 2016; Knierim et al., 2018; Khoshnoud, Igarzábal & Wittmann, 2020). Ello no permite extrapolar fácilmente las conclusiones de dichos estudios a contextos educativos presenciales y reales.

Índice de contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo, revisamos los fundamentos teóricos de esta tesis, los antecedentes de esta investigación y la justificamos. También presentamos sus objetivos, hipótesis y metodología. Finalmente, describimos la estructura de esta tesis.

1.1. Fundamentos teóricos.

1.1.1. Definiciones del término *flow* o experiencias óptimas.

Existen revisiones bibliográficas sobre el término *flow*, también conocido como experiencias óptimas, tales como las que encontramos en Novak & Hoffman (1997, pp. 3-5) o Novak, Hoffman & Yung (1997, pp. 10-11), que realizan unos análisis exhaustivos en forma tabular de la literatura y, más recientemente, en Swann et al. (2018). Sin menoscabo de estas, se ha optado por mostrar definiciones en un orden estrictamente cronológico y seguir un desarrollo del texto en forma narrativa y comparada.

Algunas de las primeras aproximaciones a la definición del término *flow* se encuentran en Csikszentmihalyi (1975), **quien introdujo el concepto para identificar una experiencia divertida y motivadora acompañada de rendimiento en una situación en la que los retos percibidos encajan con las capacidades subjetivas de la persona**. En este sentido, Csikszentmihalyi & LeFevre (1989, p.816), incluyen tres conceptos clave en los orígenes y desarrollo de la *teoría flow*, que son: 1) los retos (traducidos del inglés *challenges*), 2) las capacidades (*skills*) y, se infiere, 3) el equilibrio (*balance*), cuando aseguran que:

"Una experiencia será más positiva cuando una persona perciba que el ambiente contiene oportunidades de acción suficientemente elevadas (retos) que encajan con las propias capacidades de acción personales (competencias). Cuando tanto los retos como las capacidades son altas, la persona no está solo disfrutando del momento, sino incrementando su autoestima y complejidad personal. Dicho proceso de experiencia óptima es denominado flow" *[traducido del inglés]*.

Cabe señalar que se usa la expresión "percibida", puesto que la teoría se interesa por la subjetividad de la experiencia, es decir, que se basa en cómo la persona la siente.

Asimismo, encontramos el concepto de equilibrio como *descripción del flow* en LeFevre (1988, p. 307) que lo concibe vagamente como *"una ratio balanceada de retos respecto a las capacidades"*. Este es uno de los axiomas de la *Teoría Flow*, que resulta matizado en esta otra definición: *"la experiencia de flow comienza solo cuando los retos y capacidades están por encima de un cierto nivel y en equilibrio"* (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988, p.260). Asimismo, Ellis, Voekl y Morris (1994, p.337) consideran que se da en *"situaciones en las cuales competencias y retos son percibidas como equivalentes y facilitan la aparición de un efecto positivo y altos niveles de arousal, motivación intrínseca y libertad percibida" [traducido del inglés]*.

Sin embargo, quizás la definición más simple y radical es la que encontramos en Privette (1986), para quien **el *flow* se identifica con la diversión**. Ello aporta una de las principales

justificaciones de la existencia de la propia teoría, puesto que se interesa precisamente por conocer qué hace divertidas las experiencias para que las personas participen de ellas, incluso sin que medien beneficios inmediatos (Csikszentmihalyi, 1975). Además, la asociación del *flow* con la diversión está presente en Clarke & Haworth (1994, p.511), que lo califican inequívocamente como un sentimiento con características propias. En este sentido, manifiestan que *"las descripciones del sentimiento de flow indican una experiencia totalmente satisfactoria más allá de la sensación de diversión. El disfrute del sentimiento puede ser similar a las experiencias máximas (Maslow, 1962) cualitativamente, pero se considera que su valor reside en el crecimiento psicológico, actuando 'como un termostato integrado que indica si estamos operando a plena capacidad, a la vanguardia del crecimiento' (Csikszentmihalyi & Larson (1984, p. 269)" [traducido del inglés]*. Igualmente, hay que destacar que, en estas definiciones, aparecen matices relevantes que encuadran decididamente la *Teoría Flow* dentro de la Psicología Positiva, al significarse cuestiones de crecimiento personal.

No obstante, también cabe destacar una prominente dicotomía en el concepto, puesto que unas veces se entiende que nos enfrentamos a investigar un proceso, en lugar de un estado como argumentan (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996, p. 277) al afirmar que *"el flow es definido como un estado psicológico en el cual una persona se siente a la vez cognitivamente eficiente, motivada y feliz"* aportando una visión fenomenológica del *flow* como estado y su multidimensionalidad (cf. Csikszentmihalyi & LeFevre, 1989, p.816). Dicha multidimensionalidad aparece recogida también en (Delle Fave & Bassi, 2016, p.3), cuando lo describen así: *"el flow o experiencia óptima es generalmente definido como un estado positivo y complejo caracterizado por una profunda implicación y absortamiento, aportando crecimiento personal, bienestar y óptima funcionalidad en la vida diaria" [traducido del inglés]*. Asimismo, la idea de proceso, donde además se diferencian condiciones previas, de consecuencias y fenomenología propia del momento en el que se experimenta *flow,* está contenida en Supnick & Rooney (1991, p.230) que consideran *"dos características claves en el flow: la concentración en la actividad y el disfrute que deriva de una actividad (…) la precondición para el flow es el equilibrio entre retos percibidos en una situación dada y las competencias que una persona aporte"[traducido del inglés]*.

Estas ideas son coherentes y ampliadas por Csikszentmhalyi & Rathunde (1993, p. 59), al afirmar que el *"flow es un estado subjetivo que la gente reporta cuando están completamente implicados en algo hasta el punto de olvidar el tiempo, el cansancio y cualquier otra cosa que no sea la actividad misma (…) La profundidad de la implicación en una cosa* (se traduce de involvement) *es algo que encontramos divertido e intrínsecamente motivado"*. También en Ghani, Supnick & Rooney (1991, p.229) reconocemos la importancia de la implicación en la actividad, cuando considera al *flow* como "un estado caracterizado por la implicación y el disfrute de la tarea".

Por otro lado, empieza a aparecer la sensación de control de la situación en definiciones como las de Csikszentmihalyi (1990, p.3), quien expresa que es una *"experiencia en la cual nos sentimos en control de nuestras acciones, dueños de nuestro destino (…) sentimos ganas de reír, una profunda sensación de disfrute"*. Igualmente, Ghani, Supnick & Rooney (1991, p.231) dicen que *"un factor relacionado* [con el flow] *es la sensación de control sobre el entorno personal" [traducido del inglés]*.

Asimismo, hay definiciones ligadas, en un principio, a contextos concretos de estudio, como la navegación en Internet, aportada por Hoffman and Novak (1996): *"el estado que sucede durante la navegación en la red que es caracterizado por una continua secuencia de respuestas facilitadas por la interactividad con la máquina, intrínsecamente disfrutable,*

acompañada por pérdida de autoconsciencia y autorreforzada". Igualmente, Trevino & Webster (1992, p.540) afirman que *"es un constructo multidimensional usado para caracterizar la experiencia subjetiva en interacciones Humano-Computadora. Representa la percepción de que la interacción con el medio es divertida y exploratoria".* Cabe destacar que afloran la importancia de la atención focalizada, la sensación de control, la curiosidad elevada y que la interacción sea intrínsecamente interesante para el usuario. En un contexto laboral, en cambio, Bakker (2008, p. 400) define el *flow* como *"una experiencia cumbre breve caracterizada por el absortamiento, el disfrute del trabajo y la motivación intrínseca al mismo".*

En cambio, Csikszentmihalyi & Rathunde (1993) incorporan algunas condiciones que deben cumplir las tareas para que se produzca *flow*, como es que las personas tengan claras las metas que se deben alcanzar y la necesidad de retroalimentación inmediata y no ambigua.

Finalmente, en base a estudios de corte neurológico, (Kotler et al., 2022) definen el flow como un estado alterado de consciencia, similar a estados psicodélicos. Ello lo justifican por el hecho de que se activan las mismas zonas cerebrales de recompensa que en personas que consumen substancias psicodélicas y se comparten características fenomenológicas, ampliamente conocidas (p.e., alteración del sentido temporal, euforia, desapego de sí mismo/a, etc.).

Por consiguiente, a la vista de los trabajos analizados en esta sección, y en el contexto de esta investigación, entendemos que el *flow* puede ser visto como un estado, un proceso o un sentimiento multidimensional y subjetivo que se asocia con el disfrute y el crecimiento personal, se concibe asociado a una tarea específica y tiene una fenomenología propia.

1.1.2. Antecedentes de la Teoría Flow.

La *Teoría Flow* parte en su formulación de otras previas y se ha visto influenciada por algunas contemporáneas, dentro de las denominadas "teorías del sí mismo" (se traduce del inglés, *self*). En este apartado comenzaremos por estudiar sus antecedentes teóricos, ampliando los identificados por Engeser & Schiepe-Tiska (2012) y Moneta & Csikszentmihalyi (1996) con otras teorías de la motivación, como son las de Autoeficacia (Bandura, 1997), Autodeterminación (Deci & Ryan, 2000) y Expectativa-Valor (Eccles et al., 1983).

Entre los antecedentes más remotos de la *Teoría Flow*, se toma en consideración a Groos (1899) y a Bühler (1922), citados por Engeser & Schiepe-Tiska (2012), quienes proponen la *Funktionslust*, es decir, la sensación placentera (*lust*) que tiene lugar cuando las funciones (*funktions*) de una persona se ejecutan de manera efectiva.

Más adelante, toma en parte de Hebb (1955), Berlyne (1960, 1970) o Eckblad (1981) el *principio de estimulación óptima*, que apunta a la importancia, en el comportamiento intrínsecamente motivado, de que exista una justa medida en la cantidad de estímulo que recibe una persona (Engeser & Schiepe-Tiska, 2012). Por el contrario, la complejidad de la estimulación se establece sobre la subjetividad de las experiencias, en función de su dificultad percibida, en lugar de en factores objetivos, como defienden los precursores

teóricos antes citados (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996, p.279). La segunda gran diferencia estriba en que en la función que describe hipotéticamente la experiencia "no existe un máximo teórico o punto de equilibrio", donde dicha función se refiere al grado de perfección alcanzable (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996, p.279).

Asimismo, Csikszentmihalyi (1975) siempre se sintió atraído por investigar las actividades lúdicas, como ejemplos de aquellas en la que las personas suelen disfrutar, de modo que pronto se vio influenciado por las *teorías del juego* (Piaget, 1951 y Callois, 1958).

Anteriormente, White (1959) desvela un hecho trascendental, conocido ya desde entonces, incluso en ámbitos no académicos, como *"efecto novedad"*, que consiste en que la novedad y variedad de estímulos ambientales resultan motivantes en sí mismos, lo cual es reconocido por la Teoría Flow. Junto a ello, sentirse protagonista de las actividades (*principio de Causación Personal* de DeCharms, 1968) es importante en el disfrute de una actividad, como reconoce Csikszentmihalyi (2014).

Con respecto a Maslow (1968), Csikszentmihalyi (1975) concibe las experiencias óptimas próximas a las experiencias cumbre, pero difieren de estas en el sentido de que existe crecimiento personal: no es solo un sentimiento extático que puede estar desligado de las propias actividades en las que se exige que el sujeto participe activamente.

Además, es la propia participación en las actividades la que imprime un carácter reforzador de la motivación, aunque no se niega la importancia de las recompensas externas (Csikszentmihalyi 1996, 1997). También hay que matizar el carácter hedonista de la *Teoría Flow*, donde las personas buscan activamente participar en actividades en las que disfrutan (Engeser & Schiepe-Tiska, 2012). Este acentuado interés por el disfrute de las actividades por sí mismas, distancia la *Teoría Flow* de paradigmas como el Conductista o el Psicoanalista, que explican la participación en dichas experiencias con el fin de obtener recompensas o cubrir necesidades de la libido (Csikszentmihalyi 1975, p. 10). Por todo ello, actualmente, la *Teoría Flow* se encuadra dentro de la Psicología Positiva, puesto que comparte con este paradigma sus dimensiones axiológica, epistemológica y teleológica, al orientar su enfoque hacia la mejora y el conocimiento de las capacidades humanas (Csikszentmihalyi, 2014; Snyder & López, 2015). Hay que indicar también que Reeve (2000) considera la *Teoría Flow* como una de las micro-teorías más importantes sobre la motivación humana, donde Heutte et al. (2006) la enmarcan dentro de las teorías de la motivación del "sí mismo". En este sentido, aporta aspectos diferenciales con respecto a las Teorías de la Autoeficacia (Bandura, 1997; cf. Bassi et al., 2018) y la Autodeterminación (Deci & Ryan, 2000, 2012; cf. Bassi, Sartori & DelleFave, 2010). Además, la teoría de la Autodeterminación evidencia necesidades psicológicas como la autonomía y competencia individual, la teoría de la Autoeficacia aporta un enfoque colectivo al sentimiento de eficacia individual en las tareas y la *Teoría Flow* explica la persistencia en las mismas (Fenouillet, 2012).

No obstante, han de incorporarse algunas críticas formuladas con respecto a la misma. Así, Keller & Bless (2007), coinciden con Mannell (1979, p. 185) en que *"el desarrollo de los conceptos de flow y experiencias cumbre se basan en estudios no experimentales y el concepto no ha recibido un estudio riguroso en un laboratorio fisiológico" [traducido del inglés]*. En una línea similar, Emerson (1998) y Kimiecik & Stein (1992) critican el enfoque filosófico y fenomenológico de algunos trabajos, incoherencias en el empleo de métodos y modelos, así como las dificultades que presenta distinguir entre intensidades de *flow* o las dimensiones que tienen más importancia en el constructo. Sin embargo, a pesar de que compartimos la necesidad de realizar más estudios fisiológicos, ello no significa que no existan pruebas neurobiológicas que fundamenten la *Teoría Flow.* En este sentido, Goldberg, Harel & Malach

(2006), demuestran que las estructuras cerebrales relacionadas con la introspección se inhiben cuando las tareas alcanzan una elevada demanda, lo cual es coherente con la fenomenología descrita en la Teoría Flow (Sadlo, 2016) y es apoyado por otras pruebas de corte fisiológico (c.f. Knierim et al., 2014; Tozman, & Peifer, 2016; Khoshnoud, Igarzábal & Wittmann, 2020; entre otros).

Para finalizar este apartado, en la Figura 1.1, se muestra un mapa conceptual de la Teoría Flow en relación a otras teorías de la motivación.

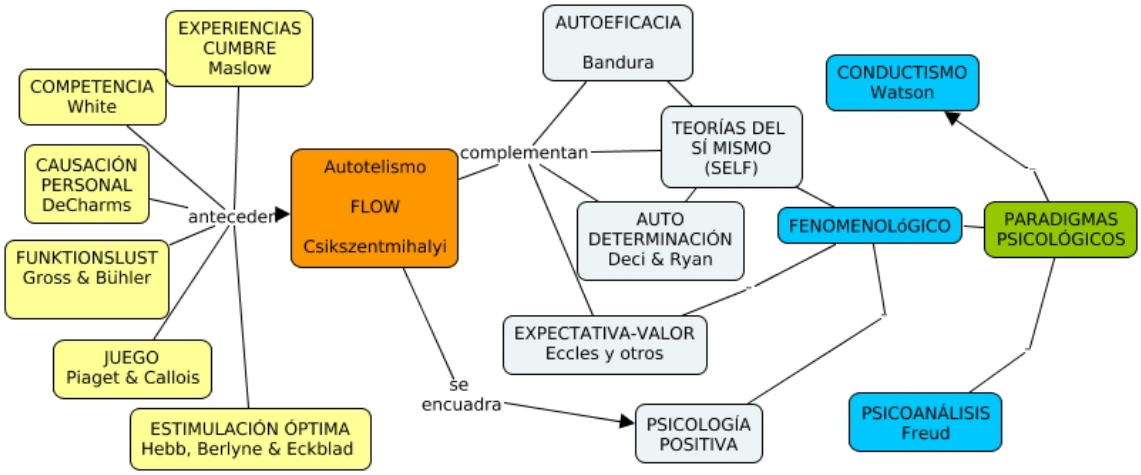


Figura 1.1. Antecedentes de la Teoría Flow y su relación con otras teorías de la Motivación. Elaboración propia, ampliando lo propuesto por Engeser & Schiepe-Tiska (2012) y Moneta & Csikszentmihalyi (1996).

1.1.3. Principales axiomas de la Teoría Flow.

Definido el término, se van a presentar los principios básicos de la *Teoría Flow*, que aparecen en trabajos de gran trascendencia, como Csikszentmihalyi (1975, 1990), (Csikszentmihalyi & Rathunde, 1993) y Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi (1998). Esto no quiere decir que puedan ser aceptados sin matices, como se irá desvelando más adelante y se discutirá en las conclusiones de la revisión bibliográfica. Son los siguientes:

1. **Equilibrio Reto-Competencia**. Esta dimensión se refiere al balance entre las habilidades propias y el objetivo que se desea lograr.
2. **Concentración en la tarea**. Se refiere al modo en el que la capacidad de autocontrol de la atención se manifiesta mientras que la actividad está siendo observada en el proceso.
3. **Metas claras**. Las metas que se pretenden alcanzar tienen que estar establecidas de manera inequívoca.
4. **Retroalimentación**. Mientras se realiza la actividad, su logro gradual puede ser evaluado de forma fiable y precisa.
5. **Actividad no consciente**. Las personas realizan las actividades sin esfuerzo aparente y con suma concentración.
6. **Sensación de control**. Significa que las personas sienten que poseen control de sus actos, o lo que es igual, pierden la preocupación de no tener el control.

7. **Pérdida de autoconsciencia**. Indica el grado en el cual la persona está absorta por la tarea, que resulta prioritaria.
8. **Transformación del tiempo**. Consiste en que tiene lugar una percepción alterada del transcurso del tiempo mientras que la actividad se está desarrollando.

1.1.4. El marco STEAM.

En esta investigación, se considera el marco STEAM como contexto adecuado para la implementación de la Teoría Flow. Aunque es difícil adjudicar la esencia del marco STEM a una sola persona, se atribuye el término a Judith Ramaley (Chute, 2009), quien manifiesta el interés por integrar mediante métodos didácticos basados en proyectos, las disciplinas científicas (S, de Science, en inglés), tecnológicas (T), ingenieriles (E, de Engineering en inglés) y matemáticas (M). No obstante, en esta tesis doctoral, empleamos las siglas en inglés STEAM, acuñadas para integrar también las artes (A), a partir de la mesa redonda sobre Política Artística Nacional Americana en 2007 (Allina, 2013), con el fin de explorar metodologías que incrementasen el interés por las disciplinas STEM en distintos contextos educativos (Daugherty, 2013). No obstante, la integración transdisciplinar, interdisciplinar, multidisciplinar y transversal de las artes, ofrece dudas en la definición del término, que admite múltiples acepciones, así como carencia de reportes sobre resultados de aprendizaje (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019). Asimismo, la metodología STEAM precisa la resolución de problemas contextualizados, el pensamiento crítico y las destrezas manuales (Maeda, 2013), si bien Aguilera & Ortiz-Revilla (2021) concluyen que aporta mejoras respecto a la creatividad, al igual que STEM.

Por otra parte, el marco STEAM, guarda similitudes con otras constructivistas y activas (c.f. Piaget, 1954), como el Aprendizaje Basado en Proyectos, el Aprendizaje Basado en Problemas, Retos y Tareas, donde los participantes tratan de resolver cuestiones contextualizadas, obteniendo productos tangibles (aunque sean en formatos digitales), transformando y reelaborando otros recursos iniciales (Solís & Solano, 2013). También cabe integrarla dentro de metodologías afines, como *Design Thinking* (Henriksen, Mehta, & Mehta, 2019). En este sentido, Rosas (2014, p. 17), a partir de los trabajos de Candlin (1990) y Herrington et al. (2004), propone las características que han de reunir las tareas educativas para considerarse auténticas:

- **Equilibradas**: entre los recursos limitados del alumnado y los resultados inciertos.
- **Motivantes**: la participación es gratificante e implica actividades desafiantes, valiosas y de interés.
- **Cooperativas**: al desarrollar destrezas sociales de gestión en el aprendizaje.
- **Estratégicas**: al estimular estrategias personales de aprendizaje.
- **Diversas**: presentan variedad en cuanto a estilos de aprendizaje y niveles de destrezas de los participantes.
- **Convergentes**: no debe existir ambigüedad en los objetivos y metas.

•**Estructuradas**: presentan pautas de gradación ordenada en su organización temporal y espacial.

•**Críticas y reflexivas:** ofrecen retroalimentación, plantean problemas y proporcionan oportunidad de reflexionar.

•**Relevantes**: tienen impacto en la vida real.

•**No definidas completamente**: el alumnado participa en tareas y subtareas.

•**Continuadas**: han de ser investigadas por el alumnado durante un periodo sostenido de tiempo.

•**Variadas**: dan oportunidad a los participantes de estudiar la propuesta desde diversas perspectivas, usando variedad de recursos.

•**Colaborativas**: proporcionan la oportunidad de colaborar.

•**Integradoras**: pueden ser integradas y aplicadas a lo largo de diversas áreas y conducen a resultados que van más allá de un dominio específico.

•**Evaluables**: están integradas con la evaluación.

•**Acabadas**: se crean productos con valor por sí mismo, no por algo que vendrá después.

•**Abiertas**: extensibles, permeables y accesibles, permitiendo también soluciones distintas y válidas, así como resultados diversos.

Además, la implementación de metodologías basadas en el marco STEAM implica un cambio profundo respecto a modelos meramente receptivos, puesto que será necesario el intercambio de roles, compartir recursos y objetivos (Santillán Aguirre & Cadena Vaca, 2019; Jho, Hong & Song, 2016). Ello también precisa, para su arraigo, de la cultura de la innovación y de la inclusión, donde se busca la participación del alumnado propenso a la exclusión, mejorar las escuelas, participar de la comunidad educativa y aprovechar la diversidad como un recurso de apoyo en los procesos didácticos (García, Romero & Escalante, 2011). También, Hernández (2012) agrega a la ecuación la importancia del liderazgo docente, la aceptación de las diferencias y el establecimiento de consensos. No obstante, se aprecia una clara brecha de género en el interés por las diciplinas STEM, contraria a estos ideales inclusivos (OCDE, 2021; UNESCO, 2019), que aumenta con la edad de las mujeres (Youngmoo et al., 2018).

Asimismo, el marco STEAM puede integrarse en contextos de actualidad pedagógica, como aulas makerspaces, en las que se configuran espacios colaborativos altamente tecnológicos (Vuorikari, Ferrari, & Punie, 2019). Del mismo modo, como se desprende de los informes Horizon publicados entre 2010 y 2020, las temáticas sobre robótica y entornos virtuales inmersivos van en aumento, respecto de las metodologías STEAM, aunque también destacan analíticas de aprendizaje y el Internet de las Cosas (Silva Díaz et al., 2022). Típicamente, el empleo del marcoSTEAM, incide en contextos de desarrollo sociales, culturales, tecnológicos, medioambientales locales, conectados con la cultura y la economía creativa (Keane & Keane, 2016).

1.2. Antecedentes de esta investigación.

El antecedente por antonomasia de esta tesis es la Teoría Flow, nacida a partir de los trabajos iniciados por Csikszentmihalyi en los años 70. Sin embrago, hemos dedicado a la misma cuatro epígrafes dentro de este mismo capítulo, por lo que nos remitimos a ellos, para no ser reiterativos. En esta sección debemos ser más concretos respecto a nuestro ámbito de estudio, por lo que mostraremos los antecedentes que surgen del área de confluencia entre dicha teoría, los dispositivos ponibles y los contextos educativos, así como sus intersecciones parciales. Además, compararemos revisiones de literaturas recientes para ilustrar su uso en el campo de la tecnología educativa. Posteriormente, estudiaremos los dispositivos ponibles utilizados para recopilar datos fisiológicos en contextos educativos y su uso justificado en esta tesis, con especial énfasis en aquellos que, además, se interesaron en las experiencias óptimas.

Para comenzar, Barfield & Caudell (2001), definen los dispositivos computacionales ponibles como computadoras completamente funcionales, autoalimentadas y autocontenidas que se ponen sobre el cuerpo, dando acceso a información, e interactuando con esta, en cualquier lugar y momento. Están siendo objeto de intensa investigación científica en contextos del Internet de las Cosas (IoT), advertidas en revisiones bibliográficas como las de Yetisen et al. (2018) o John Dian, Vahidnia, & Rahmati (2020), entre otros.

Asimismo, apreciamos en la revisión sistemática de Koutromanos & Kazakou (2020) muy pocos trabajos donde se identifican dispositivos ponibles en el ámbito de la enseñanza Primaria y Secundaria (n=15), en donde destaca el uso de relojes, bandas, gafas y textiles inteligentes. Observamos que se emplean como medios de aprendizaje. Más aun, en la revisión sistemática de Xue (2019), se hace hincapié en los riesgos que comporta su uso como herramientas de aprendizaje, y cita los siguientes: privacidad, seguridad, rendimiento, sociales y psicológicos. Además, en una revisión reciente, Al-Emran et al. (2023), estudian mediante una comparativa sistemática de trabajos los efectos psicológicos que el uso de los relojes inteligentes, utilizados como recurso didáctico, tienen en la enseñanza universitaria. Asimismo, Havard & Podsiad (2020) realizan un metaanálisis de trabajos, también escasos (n=12), donde inciden en resultados a niveles cognitivos, afectivos, psicomotores y motivacionales pero, nuevamente, enfocados al uso de los dispositivos como vehículos de aprendizaje.

Por el contrario, encontramos el metaanálisis de Bustos-López et al. (2022), que discute técnicas basadas en dispositivos ponibles usadas en educación para estudiar los niveles de implicación de los participantes, postura que adoptamos en esta tesis, en consonancia con enfoques de computación afectiva (Picard, 1997), como antecedente genérico.

Así Bustos-López et al. (2022), identifican el uso de dispositivos ponibles que analizan la actividad cardiaca, respiratoria, cinemática general, movimientos de las manos y del ratón, la actividad ocular y electrodérmica, la variabilidad del ritmo cardiaco, la temperatura de la piel, así como la presión sanguínea. Pasamos a explicar brevemente dichas técnicas.

Respecto a lo anterior, podrían estudiarse distintas facetas de la actividad cardiaca (c.f. Mitchell & Wang, 2014) usando técnicas fotopletismográficas, electrocardiológicas y tensiómetros. La fotopletismografía se basa en determinar el movimiento de la sangre por los vasos sanguíneos próximos a la piel y, con ello, la actividad cardiaca, usando luz reflejada sobre la epidermis, cuya reflectancia varía en consecuencia, como se advierte en los trabajos pioneros de Challoner (1979) o Kamal et al. (1989). En cambio, las técnicas

electrocardiográficas, detectan cambios en el potencial mioeléctrico, por medio de electrodos que se colocan sobre la piel, cerca del corazón (c.f. Speer et al., 2020). La importancia de dichas medidas en esta tesis estriba en que el corazón está conectado por medio de nervios y conexiones neurológicas con el sistema límbico y el córtex frontal y, en consecuencia, con el control emocional, motivacional, conductual, de las iniciativas, la supervivencia, los procesos de memoria y el aprendizaje (Quintana et al., 2012; Torres et al., 2015; entre otros). También está muy directamente conectado con la respiración (Shaffer, McCraty & Zerr 2014). Igualmente, Rani et al. (2004), entre otros, aseveran que los dispositivos ponibles se han utilizado para determinar el pulso (número de veces en un minuto que late el corazón en un periodo de tiempo determinado o HR), así como diversas medidas de Variabilidad de Ritmo Cardiaco o HRV, calculando el tiempo que transcurre entre latidos consecutivos (IBI). Para determinar parámetros HRV, se adoptan cuatro enfoques o dominios: dominio de los tiempos (donde se usan cálculos estadísticos sobre medidas IBI), en el dominio de las frecuencias (aplicando descomposiciones espectrales por frecuencias de funciones cardiacas temporales), mediante técnicas de análisis no lineal y medidas geométricas (c.f. Shaffer & Ginsberg, 2017; Seppälä et al., 2014; Naranjo et al., 2015).

También hay antecedentes de estudios donde se registra el ritmo respiratorio con dispositivos ponibles en ámbitos de estudio del *flow* (c.f. De Manzano et al., 2010), por medio de bandas elásticas que se colocan sobre la caja torácica. Sin embargo, se solapan con los dispositivos electrocardiológicos, incrementando la invasividad de los experimentos, y no aportan información adicional a la que podríamos conocer con los segundos. Igualmente, la oxigenación de la sangre se ha determinado con dispositivos ponibles mediante fotopletismografía (Bustos-López et al., 2022), si bien la técnica puede suponer la colocación de una pinza sobre el dedo índice o usar dispositivos de muñeca.

Asimismo, aunque se colocan muy visiblemente sobre la cabeza y limitan los movimientos de los participantes, se han usado dispositivos ponibles encaminados a medir la actividad electroencefálica en estudios sobre experiencias óptimas, así como otros más sofisticados (c.f. De Sampaio Barros et al., 2018; Kotler et al. 2022).

Por otra parte, en investigaciones sobre experiencias óptimas, se han empleado dispositivos ponibles diseñados para medir la actividad electrodérmica y electromiográfica, capaces de detectar cambios en la resistividad de la piel (se colocan en los dedos de las manos) o la actividad eléctrica de los músculos (c.f. De Manzano et al., 2010 y Ullén et al., 2010). No obstante, estos dispositivos implican dificultades de movilidad y no pasan desapercibidos. Igualmente, se han investigado dispositivos ponibles que detectan movimientos corporales, como los acelerómetros que pueden contener los relojes inteligentes, aunque también hay antecedentes en el uso de giróscopos e inclinómetros, con fines similares (c.f. López-Nava & Muñoz-Meléndez, 2016).

Igualmente, se puede medir la temperatura corporal con dispositivos ponibles por medio de termómetros (Tamura, Huang & Togawa, 2018), que podrían informar sobre cambios emocionales (Marazziti, Di Muro & Castrogiovanni, 1992). Su uso presenta algunas dificultades derivadas de que la temperatura corporal está afectada por variables difícilmente controlables en grupos de alumnado de Primaria, como enfermedades estacionales o que se están incubando (c.f. Jackson, Petersen & Wailoo, 1994; Quazi et al., 2012).

También se han empleado gafas que permiten detectar parpadeos (c.f. Chen, et al., 2021), movimientos del globo ocular (v.g. Ou et al., 2021) y la dilatación pupilar (p.e. Arsalan, Anwar, & Majid, 2022), que podrían informar de los lugares que están visualizando los

participantes, así como inferir estados emocionales, respectivamente. Al verse afectados por la luz ambiental y en cómo cada individuo reacciona a la intensidad de la luz en función de su fotosensibilidad (Ryan, Duchowski & Birchfield, 2008), se necesitan alterar los entornos educativos, que dejarían de ser reales.

Finalmente, si bien Chanchí et al. (2011) y Pezoa et al. (2016), entre otros, informan de la existencia de diversas opciones para implementar tales sistemas, como SOAP (Simple Object Access Protocol) y REST (Representational State Transfer). En una API de RestFul (Fielding, 2000; Fielding & Taylor, 2002), las comunicaciones entre un servidor que aloja la base de datos y los clientes se producen por medio de un protocolo informático que emplea objetos JSON (Bray; 2014; ECMA, 2013; IETF, 2014).

1.3. Justificación de la investigación.

El principio que rige la Educación Obligatoria en la Constitución Española de 1978, es el desarrollo integral de la personalidad de los discentes (art. 27.2). Bajo esta premisa y, ante los elevados índices de fracaso académico que informes internacionales como PISA y TIMMS confieren a ciertos países, como España, se hace perentoria la necesidad de mejorar los sistemas educativos.

Respecto a lo anterior, se reconoce que la motivación es un factor que mejora el bienestar del alumnado (Ryan & Deci, 2009), si bien la adopción de metodologías meramente motivadoras no resulta satisfactorio ya que vivimos en un mundo cada vez más competitivo e interconectado, que demanda rendimientos (Rizvi & Lingard, 2013; Álvarez López & Matarranz García, 2020). Paradójicamente, las metodologías que focalizan sus empeños meramente en criterios de logro, ignorando el bienestar de las personas, consiguen los resultados contrarios (Deci & Ryan, 2002). De las distintas micro teorías que existen sobre la motivación (c.f. Reeve, 2000), queda acreditado que, la Teoría Flow, muestra un estado motivacional con una fenomenología propia que produce mejoras en los rendimientos educativos y en el bienestar de las personas (Csikszentmihalyi, 1990; Engeser et al., 2005; Shuler, 2012; Liu & Song, 2021, entre otros). Sin embargo, la motivación en grupos, aspecto fundamental de la motivación humana, así como en los procesos de enseñanza-aprendizaje (Bandura, 1997; Ladd, Herald-Brown & Kochel, 2009, entre otros), es un aspecto de las experiencias óptimas del que se conoce muy poco, como se demuestra en la revisión sistemática de Pels et al. (2018). Igualmente, reconociendo la ubicuidad y fecundidad de la Teoría Flow, Engeser & Rheinberg (2008), Moneta (2012) o De Manzano et al. (2012), entre otros, ya manifestaban la necesidad de emplear métodos de medida más precisos. Más recientemente, Swann et al. (2018), en una revisión de literatura sobre la Teoría Flow, van más allá, al sugerir que existen indefiniciones en el constructo y problemas metodológicos que podrían indicar que se aproxima a un punto de crisis. De cualquier manera, nuevos métodos de estudio sobre el *flow* grupal podrían arrojar luz sobre este particular.

Por otro lado, la complejidad del fenómeno de estudio (Saxena et al., 2004; Nakamura & Csikszentmihalyi, 2015), su volatilidad y no linealidad (Mansfield et al., 2012, entre otros), precisa del desarrollo de tecnologías de análisis que no interrumpan los procesos de enseñanza-aprendizaje y, consecuentemente, el estado de *flow* (Csikszentmihalyi & Larson, 1987; Csikszentmihalyi & LeFevre, 1989; Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007). En este sentido, son cada vez más precisos y fiables los dispositivos ponibles a nuestro alcance, constituyendo algunos de ellos patrones oro de medida, con respecto a determinadas variables fisiológicas, como las cardiacas (Gilgen-Ammann, Schweizer & Wyss, 2019; Speer

et al., 2020). Igualmente, aunque la producción científica sobre las causas y relaciones fisiológicas del flujo van en aumento, siguen siendo muy pocos los trabajos en dicha línea, donde se manifiesta una notable necesidad de avances (Tozman & Peifer, 2016; Knierim, et al. 2018). Más aun, al analizar los trabajos que emplean métodos fisiológicos citados por los anteriores autores, se advierte que los contextos son propios de laboratorio, muy alejados de realidades de extrema complejidad, como las que acontecen en un aula presencial. Más escasos han de ser aquellos estudios sobre el *flow* fisiológico grupal en alumnado en edad escolar, puesto que no hemos encontrado ejemplos. Igualmente, en un metaanálisis sobre tecnología ponible en el ámbito educativo entre los años 2016 y 2019, Havard & Podsiad (2020), identifican una carencia importante de estudios experimentales cuantitativos y rigurosos, mientras que, en otro, Bustos-López et al. (2022), concluyen que los dispositivos suelen carecer de mecanismos automatizados para recoger, mostrar e interpretar los datos, y menos todavía, en tiempo real. Además, las correlaciones verificadas en la literatura entre medidas fisiológicas y escalas de *flow* no parecen suficientemente satisfactorias, ni tampoco las que se logran mediante observación directa, como se desprende de la revisión literaria incluida en los trabajos de Tordet et al. (2021), por lo que un sistema aumentado podría ayudar al docente en la toma de decisiones, sabiendo que, en un aula presencial, se toman en parte por medio de mecanismos intuitivos (Eşi, 2014; Leyva & Torres, 2019, entre otros). Por ello, este contexto resulta tentador para realizar un trabajo en profundidad con técnicas avanzadas, desde la Ciencias de la Computación.

Por otra parte, respecto de la metodología STEAM, Perignat & Katz-Buonincontro (2019), en base a una revisión de literatura, perciben la necesidad de realizar más investigación y práctica educativa, habida cuenta de las carencias identificadas, especialmente debido a que se publican pocos resultados. Además, se aprecia una notable preocupación en los informes de la OCDE (2021) y la UNESCO (2019) ante la brecha de género en las disciplinas STEM. En este sentido, en un estudio reciente en EEUU, Youngmoo et al. (2018), informan de un interés decreciente con la edad en las mujeres por las disciplinas STEM, que muestra paralelismos con lo encontrado en Europa (Vuorikari, Ferrari, & Punie, 2019). Ello está en clara distonía con los principios de inclusividad que deben regir las políticas educativas, como se manifiesta en la Convención contra la Discriminación de 1960 o la Declaración de Incheon y el Marco de Acción para la realización del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, suscritos por la UNESCO. Asimismo, según los informes Horizon para la educación entre 2010 y 2020, se aprecia en las disciplinas STEAM una necesidad creciente de conocimiento sobre temáticas como robótica, diseño de entornos virtuales, dispositivos ponibles, relojes inteligentes, Analíticas de Aprendizaje e Inteligencia Artificial, en distintos niveles de enseñanza (Silva Díaz et al., 2022). Es por ello que, en esta tesis doctoral, nos inclinamos por integrar este tipo de metodologías y tecnologías en las aulas, de modo que podamos aminorar en lo posible, este vacío de conocimientos.

1.4. Hipótesis.

En esta tesis, contrastaremos la siguiente hipótesis:

El empleo de un sistema computacional de asesoramiento docente sincrónico respecto del estado de flow grupal mejora los niveles de flow y los rendimientos educativos en los grupos en los que se utiliza.

1.5.Objetivos.

En esta tesis doctoral pretendemos alcanzar un objetivo general que oriente la acción investigadora, así como 4 objetivos específicos que ayuden a concretarlo, que definiremos seguidamente.

1.5.1.Objetivo general.

El objetivo general (OG) de esta tesis es:

Mejorar el rendimiento educativo y el bienestar del alumnado mediante el desarrollo de un sistema computacional basado en dispositivos ponibles no invasivos para el asesoramiento sincrónico del docente en base a fisiología cardiaca grupal en aulas presenciales de Educación Primaria, en las que se utiliza metodología STEAM.

1.5.2.Objetivos específicos.

Según Creswel (2014), los objetivos específicos permiten descomponer el objetivo general en partes medibles y observables, definiendo acciones que permitan dar respuesta a las preguntas de investigación. Asimismo, orientan las labores de investigación y la estructuran (Hernández et al., 2014).

Como primera pregunta de investigación, planteamos si existe un correlato fisiológico grupal entre medidas de variabilidad del ritmo cardiaco y las escalas de *flow* en contextos educativos presenciales de Educación Primaria. Por consiguiente, definimos nuestro primer objetivo específico (OE1), del siguiente modo:

OE1. Determinar si existe un correlato fisiológico entre medidas de variabilidad del ritmo cardiaco grupal y las escalas FKS y EduFlow, para grupos presenciales de alumnado de Primaria.

Ello resulta necesario, ya que es preciso arrojar luz sobre este aspecto de la Teoría Flow, pero, a su vez, su no cumplimiento, invalida el objetivo principal en su conjunto.

Como segunda pregunta de investigación, nos cuestionamos si es posible desarrollar un sistema sincrónico de bajo coste computacional basado en dispositivos ponibles que asesore al docente sobre el estado de *flow* grupal en nuestro contexto. En consecuencia, planteamos el siguiente objetivo secundario:

OE2. Desarrollar un sistema de bajo coste computacional basado en dispositivos ponibles de consumo poco invasivos, con el fin de estimar la prevalencia de flow en grupos presenciales para asesorar al docente, por medio de modelos matemáticos que superen el estado del arte actual.

Otras preguntas de investigación surgen al cuestionarnos sobre los posibles impactos que producen dicho sistema, en cuanto a rendimientos educativos y bienestar de los participantes. En consecuencia, plantemos los siguientes objetivos específicos, complementarios a los dos primeros:

OE3. Determinar si el empleo de los sistemas desarrollados, mejora los niveles de bienestar grupal, establecidos con respecto a la escala EduFlow.

OE4. Determinar si el empleo de los sistemas desarrollados mejora los rendimientos educativos.

1.6. Metodología.

A lo largo de la historia, ha existido un intenso debate sobre las formas apropiadas de generar nuevo conocimiento sistemático y riguroso en la ciencia, es decir, sobre metodología de investigación (Cazau, 2011). En este apartado vamos a describir de manera sucinta los distintos paradigmas de investigación, asumiendo que todos ellos son válidos para elaborar conocimiento científico. También, discutiremos el paradigma más adecuado que se va a seleccionar para alcanzar los objetivos de investigación de esta tesis doctoral y, de modo genérico, discutiremos la metodología empleada. Vamos a reservar para la Parte III de esta tesis, en cambio, la propuesta concreta y el diseño específico utilizado.

Debemos poner de manifiesto que, ante una investigación científica, los investigadores han de conocer y posicionarse adecuadamente sobre el paradigma de investigación que emplearán (Lincoln & Guba, 1994). Los paradigmas constituyen marcos comunes, enfoques, conceptos, creencias, valores y modelos compartidos por la comunidad científica, siendo producto de construcciones sociales e históricas que evolucionan (Kuhn, 1975). Estos paradigmas se circunscriben dentro de métodos y referentes teóricos que orientan una investigación (Marín-Gallego, 2007). En este sentido, las metodologías de investigación divergen con respecto a consideraciones epistemológicas sobre la ciencia, encontradas en los trabajos de Popper (1967), al manifestarse como formas concretas de articular la práctica científica (Achig, 2019). La metodología de investigación hace referencia a las estrategias, técnicas y herramientas empleadas para conducir un estudio científico (Guba & Lincoln, 2005). Proporciona los procesos sistemáticos que permiten recolectar, analizar e interpretar los datos con rigor y precisión (Hernández-Sampieri, 2018). Igualmente, Ramos (2015) considera que los paradigmas de investigación tienen una **dimensión ontológica** sobre la estructura de la realidad, una **dimensión epistemológica,** que delimita lo que puede ser conocido, así como una **dimensión metodológica,** que caracteriza los métodos válidos para descubrir lo que quiere ser conocido. Existen diferentes paradigmas y enfoques metodológicos, con características distintivas y aplicaciones, que detallamos seguidamente.

El **paradigma positivista** parte de la premisa de que el conocimiento científico debe construirse a partir de la observación y la medición (Park, Konge & Artino, 2020). Se sirve de un enfoque cuantitativo, que permite conocer patrones y leyes generales (Creswell, 2014). Asimismo, hace uso de técnicas estadísticas que permiten analizar e interpretar los datos recabados (Hernández-Sampieri, 2018). Dicho paradigma está próximo al **post-positivista,** en cuanto a los métodos que considera válidos, pero difieren en las dimensiones

epistemológicas y ontológicas, ya que, en el segundo, la realidad existente puede ser comprendida de manera aproximada o probabilística (Flores, 2004).

En cambio, el **paradigma interpretativo o constructivista** pretende conocer los fenómenos sociales desde el punto de vista de los participantes (Denzin & Lincoln, 2011; Ramos, 2015). Ello significa que se interesan por los procesos de construcción de significados y la compresión de los contextos sociales (Bryman, 2016). En este paradigma, los métodos cualitativos cobran mayor protagonismo (Neuman, 2016).

Además, de los anteriores, coincidimos con (Lincoln & Guba, 1994, entre otros) en señalar la existencia del **paradigma crítico**. Difiere de los paradigmas anteriormente mencionados en que la investigación tiene lugar en la práctica y busca conocer los fenómenos de manera holística (Escudero, 1987). Dicho paradigma presenta una componente emancipatoria, puesto que busca, en última instancia, propiciar cambios que incidan en la igualdad de oportunidades entre las personas (Masters, 1995).

Por otra parte, el **paradigma pragmático** aporta una situación intermedia entre el paradigma interpretativo y el positivista, en cuanto a que se beneficia de la aplicación de métodos mixtos (Creswell, 2014). Sin embargo, difiere de los anteriores en que busca solucionar problemas prácticos, útiles y aplicados (Hernández-Sampieri, 2018). Además, se interesa por conocer los impactos que producen las acciones desarrolladas en contextos de alta complejidad (Tashakkori & Teddlie, 2010).

Considerando lo anterior, la elección del paradigma de investigación se selecciona en función del problema, las preguntas y los objetivos del estudio, pero también las preferencias de los investigadores (Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Hernández-Sampieri, 2018). Asimismo, la comprensión de los paradigmas permiten a los investigadores tomar decisiones acertadas para diseñar estudios sistemáticos y de impacto (Creswell, 2014). En esta investigación se plantea una problemática compleja, en contextos reales, donde el investigador es a la vez participante. Asimismo, las preguntas de investigación, coherentes con su objetivo principal, tienen la misma esencia: comparar las diferencias de rendimientos educativos entre grupos-clase completos que emplean, o no, una tecnología determinada en el aula. Por consiguiente, consideramos que el paradigma pragmático, apoyado en métodos mixtos, es el más adecuado para dar respuesta a nuestras preguntas y objetivos de investigación. Igualmente, puede articularse por medio de la Investigación-Acción de enfoque técnico (no así la emancipatoria), ya que es una concreción coherente con el paradigma pragmático (Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Hernández-Sampieri, 2018) y se pretende conocer la realidad, no modificarla (c.f. Masters, 1995). En ella, los participantes y los investigadores trabajan coordinadamente para solucionar problemas prácticos, diseñando actuaciones concretas y evaluándolas (Reason & Bradbury, 2008).

En coherencia con lo anterior, propondremos un **diseño de investigación cuasiexperimental** de **enfoque mixto** (Sampieri, 2018), con **pretest y postest**, **dos grupos de control y dos experimentales**, implementado en **dos ciclos de Investigación-Acción** (Stenhouse, 1984). Justificaremos lo anterior a continuación, de manera desglosada.

Brevemente, la **Investigación-Acción,** es una metodología coherente con el **paradigma pragmático** que imprime a un diseño de investigación un carácter cíclico, donde los investigadores pueden ser participantes, la cual admite **técnicas mixtas** (Elliott, 1990). En este sentido, por necesidades organizativas y presupuestarias, el investigador es participante y será el profesor que guíe el proceso formativo.

Cada ciclo de Investigación-Acción comienza con la formulación de un problema o preguntas ligadas a la práctica educativa, se plantean posibles soluciones, se llevan a cabo y se evalúan, generando nuevas preguntas que dan comienzo a un nuevo ciclo de Investigación-Acción (Stenhouse, 1984). Implementaremos dos ciclos, debido a que ello nos permitirá un desarrollo más controlado de las herramientas tecnológicas necesarias que impone el OE2 que con un solo ciclo, donde la posible ocurrencia de problemas técnicos se detectaría quizás demasiado tarde (al final de toda la investigación), consumiendo innecesariamente recursos que son limitados. No implementaremos más de dos ciclos debido a limitaciones presupuestarias y temporales.

Justificamos la necesidad de emplear un **diseño cuasiexperimental**, puesto que los despliegues han de realizarse en contextos reales por imposiciones del objetivo OE2. Ello requiere establecer consensos con las instituciones donde se realizan (centros educativos). Por consiguiente, no podemos asegurar de antemano una asignación de participantes aleatoria para los grupos de control y experimentales. Por ello Fernández et al. (2014) sugieren que se implemente un diseño cuasiexperimental, en detrimento de un diseño experimental, para responder a objetivos donde se quiere constatar diferencias entre grupos (v.g. de rendimiento o bienestar, como sucede con los objetivos OE3 y OE4). También, el establecimiento de dos grupos de control y dos experimentales, en lugar de solo uno, hace los resultados más confiables (Manterola & Otzen, 2015), pero supone un incremento de recursos y en la organización temporal que debemos considerar en la práctica, los cuales estimamos asumibles. Igualmente, el establecimiento de **pretest** y **postest**, es común en diseños cuasiexperimentales (Sampieri, 2018), en donde pretende conocerse la magnitud de los cambios que pudieran producirse en la variable independiente como consecuencia de las actuaciones (Ramos-Galarza, 2021). Tal es nuestro caso, si observamos lo establecido en los OE3 y OE4. Al implementarse dos ciclos de Investigación-Acción, donde existe un **pretest**, una **fase de implementación práctica** y un **postest para cada ciclo**, será necesario realizar una **retrospectiva final de los dos ciclos en su conjunto**, como establece Elliott (1990). Asumiendo que existirán dos ciclos de Investigación-Acción y 4 grupos de participantes, debemos fijar variables de contexto, como pueden ser el uso de un mismo espacio donde se lleve a cabo la práctica educativa, materiales educativos que usan los participantes, estado de uso de los mismos, funcionalidad, horarios similares, régimen educativo (educación formal o informal), así como condiciones de luz y confort, que han de brindar la institución educativa de acogida. La selección de un espacio común bien mantenido y confortable, el acceso a equipos individuales e idénticos en prestaciones para todos los participantes, así como la elección de un horario lectivo temprano, proporcionado por el mismo centro, puede satisfacer estas premisas. Asimismo, las aulas no han de estar masificadas, lo cual es un factor que afecta a los rendimientos educativos (Navarro, 2003, entre otros), y nuestro presupuesto es limitado, por lo que el número de participantes por grupo ha de ser inferior a la ratio legal.

Para terminar de esbozar las líneas generales de la metodología, **los grupos de control se asignarán al primer ciclo de Investigación-Acción y los experimentales al segundo**, ya que las necesidades de desarrollo tecnológico impuestos por el OE2 han de ser coherentes con la implementación de campo de los mismos, optimizando los tiempos necesarios. Es por ello que los grupos de control participarán en el primer ciclo y los experimentales, en el segundo, ya que los desarrollos de dispositivos fisiológicos primero han de medir el flow y, solo entonces, será posible implementar un sistema de asesoramiento en base a dichas medidas. En toda lógica, el primer estadio de desarrollo es más inmediato y sencillo que el segundo, de manera que la optimización temporal será máxima si los grupos de control participan del primer ciclo de Investigación-Acción y los experimentales en el segundo,

puesto que requieren del concurso de un sistema más avanzado. Para garantizar una mayor diversidad de actividades que nos permita obtener modelos matemáticos más generalizables, **las temáticas educativas STEAM en las que participe el alumnado en los dos grupos de control serán distintas**, **manteniéndose en los experimentales**, de forma que cada diseño instruccional en el primer ciclo de Investigación-Acción, tenga su contrapartida en los grupos experimentales.

A continuación, es posible identificar de modo genérico las herramientas e instrumentos de investigación que se necesitarán en cada fase y ciclo de Investigación-Acción. De manera común a ambos ciclos de Investigación-Acción, han de cumplirse las premisas éticas de esta tesis, por lo que los participantes tienen derecho a abandonar las clases (y por, tanto, la investigación), en cualquier momento, o volver si lo desean, sin dar explicaciones ni esperar consecuencias negativas. Por ello, estableceremos que, una vez que puedan salirse del programa formativo, los datos recabados de esas personas se destruirán, y no volverán a recogerse datos si vuelven. En este sentido, la tasa de abandono es una métrica importante que deberá recogerse, así como la asistencia, puesto que podrá dar una medida de la buena acogida del programa formativo (Tlili et al., 2021, entre otros).

Con respecto a la **fase pretest**, identificamos la necesidad del empleo de una escala de propensión al flow. Esta precaución ha de considerarse, ya que hay personas que pueden tener dificultades para experimentar flow, con lo cual las escalas elegidas para medir su prevalencia pueden no ser efectivas en dichos casos (Csikszentmihalyi, 1975; Jackson, Martin, & Eklund, 2008; Ullén et al., 2012; Tse et al., 2020). Se preferirán aquellas validadas que no supongan limitaciones de uso por royalties, a causa de cuestiones presupuestarias.

También en pretest, es necesario evaluar el conocimiento del que parte el alumnado, por medio de pruebas de tipo teórico y práctico, dado que la metodología didáctica aducida en el OE2 invita a la acción, y no es meramente teórica. Igualmente, consideramos necesario establecer si el propio diseño instruccional pudiese desfavorecer a algunos participantes en concreto, por su estilo de aprendizaje, por lo que deberá preverse la selección de algún instrumento capaz de determinarlo de entre las varias opciones disponibles (c.f. Ramírez & Rosas, 2014).

En cuanto a los **postest**, en toda lógica, se tendrá previsto utilizar el mismo test de conocimientos empleado en la fase pretest, así como unas entrevistas al alumnado, ya que esta investigación tiene un enfoque mixto.

Las **fases experimentales**, en cambio, tendrán similitudes y diferencias. En cuanto a las similitudes, se han de emplear los mismos diseños instruccionales, que habrán de tener significatividad lógica (Ausubel, Novak & Hanesian, 1976) y alguna métrica que nos permita ponderar el nivel de dificultad de las actividades propuestas. En este sentido, seguirán alguna de las taxonomías actualmente disponibles (c.f. Díaz-Pinzón, 2021) y algún marco teórico bien contrastado que asegure la significatividad lógica. Asimismo, dicho diseño instruccional se realizará de conformidad a la edad madurativa esperable del alumnado (Piaget, 1954) y contará con algún instrumento que recoja de manera automatizada y fidedigna cómo este diseño se imparte por el docente. También se contemplará el uso de un diario del profesor, puesto que dichas observaciones son relevantes en trabajos de campo en los que se usan métodos mixtos (Porlán Ariza & Martín, 1996). Igualmente, es necesario contar con al menos una escala de prevalencia de flow adecuada al contexto de estudio y validada que dé sentido a los objetivos OE1, OE2 y OE4.

Para atender al OE1 y al OE2, se implementará un sistema que recoja fisiología cardiaca de manera ética, automatizada, eficaz, fiable, económica, exportable a otros contextos y poco

invasiva. Es por ello que se desarrollarán estos sistemas fuera de las aulas y, una vez comprobada su funcionalidad, se propondrá o no su uso en estudios de campo, quedando reflejados en la memoria de la tesis, tanto si resultaron adecuados, como si no. Puesto que las señales fisiológicas requieren un tratamiento específico (Seppälä et al., 2014; Shaffer & Ginsberg, 2017), por limitaciones temporales y presupuestarias, se preferirá el empleo de alguna solución ya conocida y verificada por la comunidad científica para aplicarlo.

Para tener una panorámica final de esta sección, resumimos en qué ciclos contemplamos la verificación de cada uno de los objetivos secundarios. Por lo argumentado hasta ahora, entendemos que el OE1 pueda verificarse **durante el primer ciclo de Investigación-Acción**. En cambio, los OE2, OE3 y OE4, solo podrán cumplirse parcialmente, o de manera programática. En este sentido, podríamos evaluar si existen diferencias en los rendimientos educativos y en los niveles de flow debidos a la participación en temáticas STEAM diferentes. Puesto que el objetivo OE2 adquiere una naturaleza programática (necesita desarrollos tecnológicos divididos en fases), solo puede verificarse parcialmente en este primer ciclo. Posteriormente, **durante el segundo ciclo de Investigación-Acción**, se terminará de evaluar el OE2. Asimismo, se determinará si existen diferencias en cuanto al rendimiento y niveles de flow entre los dos grupos experimentales, de manera simétrica a lo ocurrido con los dos grupos de control. Finalmente, una visión retrospectiva de los dos ciclos nos permitirá conocer si se cumple el objetivo general (OG), por medio de la discusión del cumplimiento o no de los objetivos específicos.

1.7.Métodos de investigación en la Teoría Flow.

Fruto del análisis metodológico de la sección previa, seleccionamos los métodos o herramientas específicos que mejor pueden adaptarse a la Teoría Flow. Los métodos de investigación y de medida en la Teoría Flow revisten una importancia central en este trabajo, ya que carece de sentido emprender una tesis en Ciencias de la Computación que aplique dicha teoría sin entender en profundidad cómo se determina y se mide este estado psicológico. Por ello, en este apartado, se van a introducir los métodos de estudio del *flow*, que serán ampliados en el estado del arte.

Para comenzar, los métodos generales de estudio son:

- **Perspectiva fenomenológica** (Csikszentmihalyi, 1975; Novak y Hoffman, 1997, entre otros).
- **Experience Sampling Method** (Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007).
- **Cuestionarios psicométricos y escalas** (Jackson, Martin & Eklund, 2008; Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003; Heutte et al., 2021: Ullén et al., 2012; entre otros).
- **Métodos fisiológicos** (Knierim, et al., 2018, Khoshnoud, Igarzábal, & Wittmann, 2020, entre otros).

Con respecto a la perspectiva fenomenológica, las investigaciones se basan en que los participantes narren una experiencia y se realice una entrevista después. También, en que practiquen una actividad y se les entreviste posteriormente (Csikszentmihalyi, 1975; Novak y Hoffman, 1997). Además, es posible que, tras participar en una actividad, los propios participantes realicen autoinformes relativos a los niveles de implicación, concentración y disfrute que experimentaron (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2002). Este enfoque ha tenido gran influencia en el desarrollo inicial de la Teoría, así como método complementario (c.f. Pearce y Howard, 2004).

Asimismo, la técnica Experience Sampling Method (ESM), ha sido tema fundamental de una monografía por parte de Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi (2007), debido a su importancia clave en el desarrollo de la *Teoría Flow*, aunque es un método general de estudio aplicable a otros ámbitos. Asimismo, es decisiva en trabajos relevantes por parte de Csikszentmihalyi & Larson (1987), Csikszentmihalyi & LeFevre (1989) o Csikszentmihalyi, Larson & Prescott (1977). La idea que subyace en ESM es simple, ya que consiste en monitorizar experiencias óptimas de los participantes en contextos reales a intervalos de tiempo regulares. En este sentido, típicamente, se les envía alguna señal telemática para que, si es posible, rellenen un cuestionario, que puede facilitarse en formato papel o digital (Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007). En los primeros trabajos con ESM, se empleaban el *Experience Sampling Form* o el *Flow Short Scale,* cuya validación no está verificada. No obstante, encontramos trabajos que aplican ESM con escalas validadas - principal objeción al uso de la misma para Csikszentmihalyi & Larson (1987) - en Anderson (2007) y en Engeser & Rheinberg (2008).

En cuanto a las utilidades y debilidades del ESM, Csikszentmihalyi & Larson (1987), señalan las siguientes:

- Los cuestionarios no necesitan incluir repetidamente preguntas que evalúan un mismo constructo, ya que la naturaleza recursiva del ESM lo hace innecesario.
- Es adecuado para estudiar dinámicas de emociones y otros estados subjetivos.
- Permite describir los patrones de una experiencia diaria de un individuo.
- Es útil para evaluar la experiencia común de distintas situaciones entre distintas personas.
- Se puede utilizar para comparar la experiencia subjetiva de diferentes eventos.
- Se puede emplear para conocer qué cambios en las situaciones de la vida provocan cambios en las experiencias de las personas en general.
- Depende de la sinceridad en las respuestas de los participantes.
- Los participantes tienen que estar en condiciones de responder, lo cual no siempre es posible por las circunstancias del contexto en el que les llega la señal que les pide contestación.

Con respecto a los métodos fisiológicos, existen sendas revisiones sistemáticas recientes, que se estudian más detalladamente en el estado del arte de esta tesis. Sin embrago, se han empleado técnicas neurológicas, cardiológicas, hormonales, de resistividad de la piel, respiratorias y mioeléctricas, fundamentalmente (Knierim, et al., 2018; Khoshnoud, Igarzábal, & Wittmann, 2020).

Para concluir, a pesar de que esta combinación narrativa/actividad seguida de una entrevista enriquecen el conocimiento profundo de la *Teoría*, que en origen tenía un enfoque fenomenológico (Engeser and Schiepe-Tiska, 2012), algunos autores sugieren que deberían seguirse enfoques más experimentales (Keller & Bless, 2007).

1.8. Estructura de la tesis.

Esta tesis doctoral se articula en 4 partes, además de referencias bibliográficas y un conjunto de anexos. Dicha estructura está condicionada, debido a que empleamos dos ciclos de Investigación-Acción, donde las investigaciones de campo tienen lugar en un centro de Educación Primaria concreto de Andalucía (España).

En la parte I, realizamos una introducción. En ella, aparecen los fundamentos teóricos, antecedentes y justificación de esta investigación. También, los objetivos e hipótesis, así como una descripción general de la metodología. Se pone de manifiesto que nos centramos en la Teoría Flow, desde las Ciencias de la Computación, para realizar investigaciones de *flow* grupal con grupos de Primaria que emplean metodología STEAM, con dispositivos de fisiología ponible y un asistente del profesor basado en modelos matemáticos, a fin de mejorar los rendimientos educativos y los niveles de bienestar, comparando dos grupos de control y dos experimentales.

En la parte II, presentamos el estado del arte. Para ello, mostramos los métodos de medida que existen para determinar el *flow*, sin los cuales, no ha lugar a comenzar una tesis en el área de Ciencias de la Computación. Mostramos los métodos basados en cuestionarios, los modelos que de ellos se derivan y los métodos fisiológicos. Por su transversalidad, realizamos una revisión en profundidad de la Teoría Flow y del estado de la cuestión.

En la parte III, mostraremos la implementación metodológica de la tesis, que se articula en dos ciclos de Investigación-Acción, con un desarrollo interno simétrico para cada ciclo. En el primer ciclo, participan 2 grupos de control y en el segundo, 2 grupos experimentales.

Los distintos ciclos comienzan mostrando las implementaciones metodológicas concernientes a los grupos de control o experimentales, en cada caso, que presenta la misma estructura en fases pretest-docencia-postest, con un enfoque mixto y diseño cuasiexperimental. Profundizamos en la metodología e instrumentos de medida empleados, destacando desarrollos tecnológicos propios satisfactorios, pero también los mejorables. Caba señalar aquí el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF), que asesora de manera sincrónica al docente. Ambos ciclos difieren, principalmente, en que en los grupos experimentales se hace uso del SATEF.

También, para cada ciclo**,** presentamos los resultados y los discutimos. Además, tras cada ciclo, hay una reflexión retrospectiva. Por ello, cabe proponer hipótesis y toma de decisiones sobre lo observado que pueden ser integradas o estudiadas en otros ciclos de Investigación-Acción.

Siguiendo las premisas de la Investigación-Acción, finalizamos esta parte con una retrospectiva general de los dos ciclos estudiados, a modo de discusión integradora de resultados.

Finalmente, **en la parte IV**, extraemos conclusiones. Especialmente, verificamos si se cumplen los objetivos de investigación, el sentido de la respuesta a nuestra hipótesis, así como otras aportaciones originales, limitaciones y líneas de trabajo futuras.

PARTE II. ESTADO DEL ARTE.

En la introducción de esta tesis, se presentaron los antecedentes de la Teoría Flow, una revisión comparada de las definiciones del constructo, los principales axiomas y métodos generales de estudio, para la cual realizamos una primera revisión de corte narrativo.

En esta parte, conscientes de que pueden existir inconsistencias en la definiciones y problemas metodológicos en la Teoría Flow, que podrían significar un cambio de paradigma (Swann et al., 2018), realizaremos una revisión sistemática de los métodos de medida basados en cuestionarios, por ser su uso transversal en la Teoría Flow. Su trascendencia es tal, que resulta completamente imposible realizar una aproximación a la Teoría Flow desde las Ciencias de la Computación sin conocer cómo determinar el *flow.*

También presentaremos de manera narrativa y crítica los modelos que se derivan de las dimensiones definidas a partir de dichos cuestionarios, así como de los métodos fisiológicos utilizados para estudiar el *flow*, sin perder la perspectiva de que nuestro principal interés son los contextos educativos mediados por tecnología.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DEL FLOW.

Existen diversos modos de abordar una revisión bibliográfica para una tesis doctoral. Así, cabe destacar el enfoque sistemático (Grant & Booth, 2009) y el enfoque narrativo (Ferrari, 2015). Puesto que ambos enfoques son interesantes, se completaron dos revisiones distintas, empleando dichos enfoques secuencialmente.

Así, completamos un primer estudio de corte narrativo, que permite profundizar de manera más flexible sobre aspectos concretos que requieren aclaraciones (Ferrari, 2015), pero sistematizando el análisis de textos por medio de Teoría Fundamentada (Glaser & Strauss, 1967; Strauss & Corbin, 1998) como primera toma de contacto con la Teoría Flow. Dicha revisión se realizó entre noviembre de 2021 y abril de 2022 con ayuda de Atlas-ti (2022), un conocido software para análisis de contenidos utilizado al aplicar Teoría Fundamentada.

Posteriormente, hasta enero de 2023, completamos una revisión sistemática acerca de los métodos basados en cuestionarios para determinar el estado de *flow*, estudiando obras escritas en inglés, por medio del método PRISMA (Moher et al., 2009), debido a que aporta mejoras en cuanto al rigor metodológico de las búsquedas (Grant & Booth, 2009). Ello ha requerido, además, implementar un protocolo reforzado de búsquedas basado nuevamente en Teoría Fundamentada, coherente con el método PRISMA (Moher et al., 2009). Para ello, también empleamos el software de análisis de contenidos Atlas-ti.

Finalmente, se realizó una síntesis de ambos trabajos, sobre la base de los métodos de estudio identificados y analizados sistemáticamente.

2.1. Consideraciones metodológicas comunes sobre análisis de contenido mediante Teoría Fundamentada.

Como ya se anticipó en el apartado anterior, las obras seleccionadas se analizan mediante Teoría Fundamentada (Glaser & Strauss, 1967; Strauss & Corbin, 1998), utilizando la implementación práctica que desarrolló Charmaz (2006). La Teoría Fundamentada es un método iterativo constante que permite el descubrimiento de unidades de significado (categorías) para elaborar una teoría que emerge del texto. Siguiendo a Charmaz (2006), al principio del análisis, dicha codificación es abierta y, posteriormente, se relacionan unas categorías con otras hasta saturación. La saturación se alcanza cuando no aparecen nuevas categorías o cuando éstas no ofrecen información adicional. Como resultado de aplicar Teoría Fundamentada, se desarrolla un libro de categorías y resúmenes de textos (Charmaz, 2006). Puesto que nuestro interés consiste en conocer cómo se determinan los estados óptimos, por su papel transversal y central en la Teoría Flow, cuando un fragmento de texto indica la existencia de un método, se sigue un proceso recursivo de búsqueda de referencias asociadas, hasta que se pueda contrastar cómo se desarrolla y aplica. En caso de ser un cuestionario, debe mostrarse completo y evidenciar el proceso de validación al que ha sido sometido.

Para el primer estudio, que se realizó mediante un enfoque narrativo, las categorías iniciales fueron las siguientes:

A. Definiciones: los autores muestran una definición sobre el *flow.*
B. Modelos: el texto indica la existencia o muestra de un modelo de *flow.*
C. Métodos: los autores indican o muestran un método de medida del *flow*.
D. Antecedentes: los autores señalan un antecedente necesario para alcanzar el *flow*.
E. Consecuencias: se muestran consecuencias de alcanzar el estado de *flow*.
F. Factores: se indica un factor en el que puede descomponerse el estado de *flow.*
G. Limitaciones: los autores indican limitaciones de los métodos de estudio empleados.
H. Contextos: se indica el contexto en el que se está estudiando el *flow.*

En cambio, para el segundo estudio, de corte sistemático, partimos de las categorías C, F, G y H. Además, cuando hablamos de métodos, nos limitamos exclusivamente a formularios, cuestionarios y escalas de flow. Asimismo, por consideraciones prácticas y resultar monótono, cuando se nombra un método por primera vez, se genera una categoría con las siglas de los autores o del nombre dado al cuestionario, y se van asignando sufijos según se haga referencia a un método, factor, limitación o contexto. En la tabla 2.1, mostramos un ejemplo que se refiere a los códigos generados para un método concreto.

Tabla 2.1. Ejemplo de subcategorías, códigos y definiciones generados en el libro de códigos para la escala FPS. *Elaboración propia.*

Subcategoría	Código	Definición
C. Método	FPS_m	Se presenta la escala "Flow Process Scale" (FPS)
F. Factor	FPS_f	Un factor de la escala FPS es citado
G. Limitación	FPS_l	Se cita una limitación de la escala FPS
H. Contexto	FPS_c	Un contexto para la escala FPS es citado

Asimismo, para ampliar la muestra de artículos a evaluar, con cualquier enfoque, se tuvo que cumplir que sus objetivos permitiesen avanzar en las categorías señaladas y los siguientes criterios de calidad, establecidos en Castro Benavides et al. (2020), adaptándolos a las características de esta tesis:

- Los trabajos aparecen en WoS, Scopus o Google Académico.
- Todas las respuestas de investigación son respondidas adecuadamente.
- Los objetivos están claramente definidos.
- Se concretan los contextos y participantes.
- Se describe adecuadamente la metodología utilizada.
- Aparecen resultados acordes a los métodos empleados.
- Las conclusiones se basan en la información presentada.

Finalmente, se obtienen como resultados resúmenes tabulares o en forma de un mapa conceptual que permita relacionar las categorías creadas, así como fichas de resumen de algunos textos, que pueden a su vez analizarse recursivamente si se desea (Charmaz, 2006), aunque no lo hicimos. Estas fichas se basan en las propuestas por Bloomberg & Volpe (2019). Tras este proceso, se suelen exponen las conclusiones de la revisión bibliográfica,

redactándolas o bien mediante mapas conceptuales (Novak, 2010). Para generar los mapas conceptuales, las categorías se organizan jerárquicamente en conceptos, mientras que las relaciones entre dichas categorías se representan mediante flechas y se explican mediante palabras de enlace.

Además, se ha empleado Mendeley Desktop como gestor de referencias bibliográficas y CmapTools para elaborar los mapas conceptuales, respectivamente.

A continuación, mostramos el diagrama de flujo de trabajo necesario según Charmaz (2006), el cual precisa recopilar, organizar y analizar datos para elaborar una teoría (ver Figura 2.1).

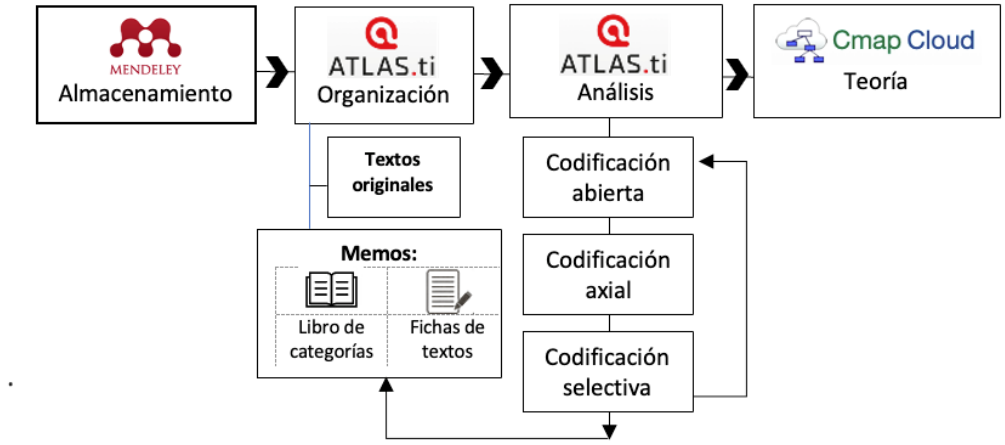


Figura 2.1. Esquema de la metodología de análisis de contenido de este trabajo mediante Teoría Fundamentada, siguiendo a Charmaz (2006). Elaboración propia.

2.2. Metodología sistemática de revisión de métodos de medida del flow basados en cuestionarios.

Para completar este apartado, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sistemática específica, usando Teoría Fundamentada, tratando de responder a las siguientes preguntas:

PI1: ¿Qué métodos de estudio del flow basados en cuestionarios en inglés se conocen?

PI2: ¿Qué dimensiones de las experiencias de flow pueden ser evaluadas con dichos cuestionarios?

PI3: ¿Qué limitaciones de uso presentan dichos cuestionarios de flow considerando su proceso de Desarrollo y validación?

Para ello, usamos una metodología reforzada sobre la base del método PRISMA, en 8 fases, que se describe a continuación (Figura 2.2). Ello es debido a que se originan problemas al contar con términos de búsqueda en buscadores científicos tan polisémicos como pueden ser *flow, optimal* o *experience*. Esto hace que los resultados contengan gran cantidad de trabajos que nada tienen que ver con la Teoría Flow de Csikszentmihalyi, si no se imponen restricciones. Puesto que, para evitar lo anterior, sería necesario imponer muchas restricciones a las búsquedas, al final se obtendrían unos resultados muy ajustados a

contextos concretos, mientras que necesitamos una panorámica extensa sobre la cuestión que nos ocupa, perdiéndose así el objetivo del estudio.

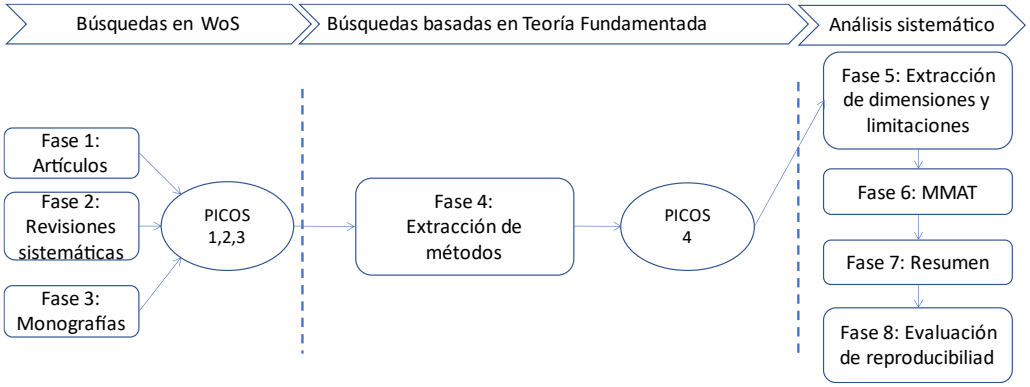


Figura 2.2. Diagrama de flujo del método de revisión sistemática aplicado. Elaboración propia

Por lo anterior, en primer lugar, realizamos 3 búsquedas sistemáticas de artículos, monografías científicas y revisiones sistemáticas en Web of Science (WoS), denominadas fase 1, 2 y 3, respectivamente. Para cada fase, se aplicaron criterios de elegibilidad poco restrictivos (básicamente, que las obras traten sobre la Teoría Flow). Luego, en la fase 4, se extraen de las obras preseleccionadas todos los métodos de medida basados en cuestionarios que se citen, usando Teoría Fundamentada, comprobando y buscando las referencias bibliográficas. A continuación, en la fase 5, se extraen sistemáticamente las dimensiones y contextos de uso de dichos cuestionarios, por medio de Teoría Fundamentada, comenzando por los artículos encontrados en la fase 1 y siguiendo por las sucesivas, considerando el principio de saturación (Charmaz, 2006). En la fase 6, se realiza un análisis de calidad de las obras estudiadas, usando "Mixed Methods Appraisal Tool" (MMAT; Hong et al., 2018). Finalmente, se presentan los resultados en tablas (fase 7), indicando las fuentes. Para terminar, se comprobó la reproducibilidad de los resultados de las tablas, en la fase 8.

Una vez concluido el proceso, completamos, en el Anexo 1, la lista de verificación PRISMA 2009 (Moher et al., 2009) y su diagrama de flujo (Anexo 2), indicando las fases descritas en el mismo. Los criterios de elegibilidad se definen sistemáticamente con el enfoque PICOS (siglas tomadas del inglés, formadas por lo términos Population-Intervention-Comparison-Outcome-Study Design, es decir Población-Intervención-Comparación-Resultado-Diseño del estudio; Moher et al., 2009). Como criterios PICOS comunes a las fases 1 (PICOS 1), 2 (PICOS 2), 3 (PICOS 3) y 4 (PICOS 4), coincidimos con Perttula et al. (2017) sobre las dudas que ofrecen los cuestionarios que tienen preguntas abiertas y se validan empleando la técnica ESM. Estos son continuamente administrados, alterando las medidas de *flow* y están condicionados por respuestas previas. En cualquier caso, se citarán dentro de un grupo específico, denominado "cuestionarios que no cumplen los criterios PICOS 4".

2.2.1. Fase 1: búsqueda de artículos que no sean revisiones sistemáticas.

Realizamos en WoS la búsqueda sin restricciones en inglés "flow state questionnaire scale validation" (última revisión: 17/09/2022), obteniendo 41 registros. En cada fase,

emplearemos la notación #n para indicar cualquiera de los n documentos encontrados en la búsqueda. Estos se guardan en archivos en formato CSV, pudiendo consultarse en el anexo 4 como Fase 1.

Los criterios de elegibilidad de esta fase (PICOS 1) incluyen artículos revisados por pares relativos a la Teoría Flow de Csikszentmihalyi (1975) o preimpresiones con DOI, sin restricciones en las fechas de publicación. Los criterios de exclusión fueron: (a) artículos que no están escritos en inglés; (b) revisiones narrativas o sistemáticas sobre el estado de flow; c) libros o capítulos de libros; d) traducciones y validaciones en otros idiomas distintos al inglés de cuestionarios de flow; e) artículos validando cuestionarios con la técnica ESM.

De los 41 resultados, se descartaron 34, teniendo en cuenta PICOS 1, debido a:

- No existe relación con la Teoría Flow (#17, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40).
- Trabajos no escritos en inglés (#3, 5, 9).
- No contienen cuestionarios de *flow* (#6, 12, 13, 15, 20, 25, 35, 41).
- Estudios que contienen validaciones y traducciones a otros idiomas de cuestionarios validados inicialmente en inglés, por lo que se consideran duplicados (#4, 7, 8, 16, 24).
- Revisiones sistemáticas o narrativas (#18).

Por consiguiente, preseleccionamos para estudiar con Teoría Fundamentada 6 trabajos en esta fase (#1, 2, 10, 11, 14, 19). Por tanto, las referencias (Swann et al., 2022; Wilson & Moneta, 2016; Tordet et al., 2021; Bakker, Ljubin Golub & Rijavec, 2017; Jackson, Martin & Eklund, 2008; Tse et al., 2020) se seleccionaron para la fase 4.

2.2.2. Fase 2: búsqueda sistemática de revisiones sistemáticas.

Para localizar revisiones sistemáticas en inglés sobre la Teoría Flow, realizamos la búsqueda "flow optimal experience systematic review" sin restricciones en WoS, obteniendo 57 resultados. Dicha búsqueda se guardó en formato CSV y puede consultarse en el anexo 4 con el nombre Fase 2.

En esta fase, los criterios de elegibilidad incluyeron revisiones sistemáticas o narrativas en inglés sobre la Teoría Flow de Csikszentmihalyi (1975), sin restricciones en las fechas de publicación. Los criterios de exclusión fueron (PICOS 2): (a) libros o capítulos de libros sobre investigación relativa al flow; (b) artículos que no sean revisiones sistemáticas o narrativas sobre el estado de flow. Por ello, leyendo los resúmenes, preseleccionamos los registros #1, 4, 7, 12, 16, 17, 20, 21 ,28, 33, 48. Por consiguiente, las referencias (Alameda, Sanabria & Ciria, 2022; Peifer et al., 2022; Yan & Donaldson, 2022; Tan & Sin, 2021; Harris, 2021; Goddard et al., 2021; Ottiger et al., 2021; Jackman et al., 2021; Boudreau, Mackenzie & Hodge; 2020; Pels, Kleinert, & Mennigen, 2018; Swann et al., 2012) se preseleccionaron para la fase 4. Por el contrario, #9 no se incluyó por no estar escrito en inglés, mientras que el resto, no tenía relación con nuestro tema de estudio.

Asimismo, el método PRISMA permite añadir "referencias identificadas por otras fuentes". Es por ello que sugerimos incluir también las referencias (Perttula et al., 2017; Oliveira et al., 2021; Chirico et al., 2020) para la fase 4, por contener valiosas revisiones sistemáticas.

2.2.3. Fase 3: búsqueda sistemática de monografías.

En esta fase, realizamos la búsqueda "flow optimal experience" en WoS con dos restricciones: "Books" como tipo de fuente y 1975 como fecha más temprana de publicación, ya que Csikszentmihalyi escribió su primera bibliografía sobre la Teoría Flow ese año (última revisión: 2022/9/18), obteniendo 52 documentos. Guardamos los resultados en formato CSV, pudiendo consultarse en el anexo 4 como Fase 3.

En esta ocasión, los criterios de elegibilidad incluyeron monografías o capítulos relativos a la Teoría Flow de Csikszentmihalyi (1975). Los criterios de exclusión (PICOS 4), fueron: (a) trabajos no escritos en inglés; (b) los trabajos no son monografías ni capítulos de estas sobre el estado psicológico de flow.

Por ello, de 52 resultados, solo los registros #33, 35, 37, 39 ofrecen información sobre 2 monografías de Delle Fave, Massimini, & Bassi (2011) y Engeser et al. (2012). Como se explicó en la fase 2, el método PRISMA permite incluir "registros adicionales de otras fuentes". En este caso, incluimos también el trabajo de Harmat et al. (2021), puesto que se trata de una importante monografía sobre la Teoría Flow, no habiendo sido escrita por Csikszentmihalyi, a fin de dar cabida a otras voces influyentes.

2.2.4. Fase 4: extracción sistemática de métodos y referencias con Teoría Fundamentada y búsqueda recursiva de referencias.

En esta fase, trabajamos con documentos recogidos en las fases 1, 2 y 3, para identificar métodos de medida del flow basados en cuestionarios. Igualmente, aplicamos los criterios PICOS 4, considerando artículos y monografías indexadas y revisadas por pares, conteniendo métodos completamente descritos. Se recogen en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Resumen de PICOS 4. Fuente: elaboración propia.

	Criterio de Inclusión/Exclusión
Población	Cualquiera
Intervención	Se emplean cuestionarios, formularios o escalas de flow
Comparación	Cualquiera
Resultado	Se muestra un cuestionario no ESM, su proceso de validación y dimensiones extraídas (cuando sea de aplicación)
Diseño del estudio	Estudio experimental, con introducción, participantes, objetivos, métodos, resultados, conclusiones y referencias

2.2.5. Fase 5: extracción sistemática de dimensiones del flow con Teoría Fundamentada.

En la fase 5, extraemos el número de ítems y dimensiones de cuestionarios validados de flow, por medio de Teoría Fundamentada. Comenzamos por los artículos, seguimos por las revisiones sistemáticas o narrativas y concluimos con las monografías.

2.2.6. Fase 6: evaluación de calidad de los artículos (MMAT).

En esta fase, usamos Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) como criterios de evaluación de calidad de estudios empíricos (Hong et al., 2018). MMAT, proporciona un conjunto de categorías para clasificar la investigación a estudiar: investigación cualitativa, ensayos controlados aleatorios, estudios no aleatorios, estudios cuantitativos descriptivos y estudios con métodos mixtos. Una vez elegida una categoría, se evalúan 7 ítems de calidad, que pueden responderse con "sí", "no" o "no se sabe". En el anexo 3 se resume tabularmente. Además, todos los estudios se pueden incluir en la categoría de estudios cuantitativos descriptivos, por lo que se deben contestar estas otras cuestiones:

4.1. ¿La estrategia de muestreo es relevante para contestar la pregunta de investigación?

4.2. ¿La muestra es representative de la población objetivo?

4.3. ¿Las medidas son apropiadas?

4.4. ¿Existe riesgo de sesgo de no respuesta?

4.5. ¿El análisis estadístico es apropiado para contestar la pregunta de investigación?

2.2.7. Fase 7: elaboración de resúmenes tabulares.

Por medio de Teoría Fundamentada, es posible presentar resultados como mapas conceptuales, resúmenes y libros de categorías. Nosotros emplearemos como productos finales un conjunto de tablas que contienen: contextos y dimensiones (tabla 2.4) y limitaciones (tabla 2.5). En dichas tablas, se incluye el autor principal del trabajo y la fuente de información de la que surge, puesto que el método PRISMA permite incluir registros identificados desde otras fuentes distintas de búsqueda directa en motores científicos, a condición de que se especifiquen claramente. Con ello, además, se facilita la comprobación de reproducibilidad de resultados.

2.2.8. Fase 8: evaluación de la reproducibilidad.

Comprobamos la reproducibilidad de resultados asegurándonos de que cada referencia puede localizarse por medio de las tablas de resumen y su contenido es fidedigno.

2.3.Perspectiva fenomenológica.

Mediante Teoría Fundamentada, quedó acreditado que los estudiosos del *flow* consideran que una combinación de narrativa o actividad con una entrevista constituye un método general de investigación (c.f. Csikszentmihalyi, 1975; Novak y Hoffman, 1997). Esto tiene interés para comprender el desarrollo histórico de la *Teoría Flow*, si bien se emplea en ocasiones como técnica complementaria (c.f. Pearce y Howard, 2004).

Sin embargo, a pesar de que esta combinación narrativa / actividad seguida de una entrevista enriquecen el conocimiento profundo de la *Teoría*, que en origen tenía un enfoque fenomenológico (Engeser and Schiepe-Tiska, 2012), algunos autores sugieren que deberían seguirse enfoques más experimentales (Keller & Bless, 2007). En cambio, sin un enfoque fenomenológico no hubiese sido posible seleccionar las preguntas que incluyeron los primeros cuestionarios desarrollados, como por ejemplo el FQ o el ESF, (cf. Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988; Csikszentmihaiyi & Larson, 1984).

2.4. Métodos de medida del flow basados en cuestionarios.

En este apartado, mostraremos los resultados de la revisión sistemática cuya metodología acabamos de describir, tratando de responder a las siguientes preguntas:

PI1: ¿Qué métodos de estudio del flow basados en cuestionarios en inglés se conocen?

PI2: ¿Qué dimensiones de las experiencias de flow pueden ser evaluadas con dichos cuestionarios?

PI3: ¿Qué limitaciones de uso presentan dichos cuestionarios de flow considerando su proceso de desarrollo y validación?

2.4.1. Métodos de estudio del flow basados en cuestionarios en inglés.

En respuesta a la *PI1*, encontramos 34 cuestionarios en inglés, validados mediante métodos no ESM, considerando versiones largas y cortas. Se codificaron así: FSS-1, DFS1, CFS, FSS-2, DFS-2, SFPQ, FKS, WOLF, RFSS, FHCI, FS, FPS, EduFlow-1, EduFlow-2, GSR, VFM, FMI, AK, FSG, EGameFlow, GameFlow, FSSOT, FOG, FCS, WOLF-S, FMQ, SFWS, APQ, SFS, y FIMA. A continuación, se describen agrupándolos por criterios de similaridad, es decir, autor principal, dimensiones del *flow* o contexto de uso.

2.4.1.1. Cuestionarios Flow Short Scale (FSS-1, FSS-2), Dispositional Flow Scale (DFS-1, DFS-2), y Core Flow Scale (CFS).

Actualmente, el uso de las Flow Short Scales (FSS-1, FSS-2), Dispositional Flow Scales (DFS-1, DFS-2) y Core Flow Scales (CFS) está limitado por cuestiones de derechos de autor.

En primer lugar, se identificaron dos escalas FSS-1 en el mismo trabajo Jackson & Marsh (1996), las cuales permiten determinar la intensidad de la experiencia de flow. Asimismo, existe una versión larga (54 ítems) y otra corta (36 ítems), compartiendo ambas las 9 dimensiones del flow sugeridas por Csikszentmihalyi (2009).

En vista de que hay personas incapaces de experimentar flow, Jackson et al. (1998) trataron de determinar la propensión a experimentarlo como rasgo de la personalidad, desarrollando la DFS-1 (Dispositional Flow Scale). Además, las FSS y DFS comparten los mismos ítems, cambiando las instrucciones del cuestionario (Jackson et al., 1998).

Más tarde, Jackson, Martin, & Eklund (2008) publicaron nuevas versiones cortas y largas de las escalas FSS y DFS, a las cuales añadieron un 2 como sufijo a su nomenclatura. Las escalas largas contienen 4 ítems para cada dimensión del flow, mientras que las cortas, presentan 1 por dimensión. Con respecto a sus propiedades psicométricas, Jackson, Martin, & Eklund (2008) demostraron que muestran ajuste y fiabilidad al modelo aceptables, así como asociaciones con correlatos clave, invarianza de las cargas de los factores, en distintos contextos y para distintos propósitos. Por ello, sugirieron el uso de escalas cortas para conseguir un agregado multidimensional del constructo de flow, cuando las circunstancias no permitan usar cuestionarios largos.

Para finalizar, Martin & Jackson (2008) desarrollaron las Core Flow Scales (CFS) para evaluar experiencias óptimas fenomenológicamente, en lugar de dimensionalmente, en varios contextos (educación general, matemáticas, actividades extracurriculares y deportes). Dichas escalas solo tienen 10 ítems, para caracterizar la experiencia central del flow, no así sus antecedentes. De nuevo, dependiendo de las instrucciones del cuestionario, es posible medir prevalencia o propensión al flow, indistintamente.

2.4.1.2. Cuestionario Swedish Flow Proneness Questionnaire (SFPQ).

El cuestionario sueco de propensión al flow (codificado como SFPQ) evalúa la tendencia a experimentar flow por medio de 22 ítems que recogen información diferencial con respecto a contextos laborales, ocio y rutinas, denominados dominios, empleando escalas Likert de 5 puntos (Ullén et al., 2012). Por medio de Análisis Factorial Confirmatorio (CFA) obtuvieron 7 dimensiones para cada dominio, mientras que se usa la media de la suma de los ítems como medida de propensión al flow. Además, la escala SFPQ demostró buena fiabilidad en términos de alfa de Cronbach, oscilando entre 0.83 y 0.87, los cuales son muy adecuados (Cronbach, 1951).

2.4.1.3. Flow-Kurzskala (FKS).

Existen dos versiones de la Flow Kurzskala (FKS). Ambas sirven para determinar la prevalencia de flow en distintos contextos a partir de sus dimensiones, sin necesidad de recurrir a las variables competencia/reto (Engeser & Rheinberg, 2008). Asimismo, la versión más larga (Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003) tiene 13 ítems, mientras que la corta, cuenta con 10 (Engeser & Rheinberg, 2008). También debe indicarse que la versión larga tiene 3 ítems para evaluar la importancia dada a la tarea. Igualmente, la versión corta (FKS-10) agrupa sus cuestiones en dos factores: progresividad del curso y absortamiento cognitivo, por medio de escalas de Likert de 7 puntos.

Junto a lo anterior, se añaden 3 ítems específicos separados del resto, a fin de determinar el equilibrio de la tarea, usando escalas de Likert de 10 puntos. También se preguntan variables de contextos, como la actividad o el tiempo que tomó realizar la tarea.

2.4.1.4. Inventario Work-Related Flow (WOLF).

El Inventario de Flow en el Trabajo (codificado como WOLF) es un ejemplo de cuestionario ligado a un contexto específico para evaluar el flow, en este caso, laboral. Para validarlo, emplearon validación cruzada con 6 muestras (n=1346), demostrando validez convergente, predictiva y de constructo para distintas categorías profesionales (Bakker, 2008). Con respecto a la fiabilidad de las 3 subescalas que se extraen de sus 13 ítems, solo la motivación intrínseca hacia el trabajo puede no funcionar tan bien como el resto, en trabajadores temporales (Bakker, 2008). Asimismo, Bakker (2008) demostró que los empleados que experimentan más intensidad del *flow* en el inventario WOLF realizan mejor su trabajo.

2.4.1.5. Escala Reading Flow Short Scale (RFSS).

La Escala Corta del Flow en la Lectura (RFSS) solo tiene 8 cuestiones, desarrolladas para evaluar el *flow* en la lectura de textos de ficción (Thissen, Menninghaus & Schlotz, 2018). Tras validarla, se reconocieron 2 factores principales, relativos a absortamiento (placer por la lectura) y fluidez en el proceso lector. Igualmente, encontraron una relación en forma de U invertida entre la competencia lectora y la dificultad de un texto, lo cual permite seleccionar materiales para mejorar la competencia lectora (Thissen, Menninghaus & Schlotz, 2018). Finalmente, a través de AFC, estos mismos autores identificaron factores latentes comunes con otros cuestionarios sobre el proceso lector, lo que hace de este test una interesante herramienta para evaluar procesos educativos sobre animación a la lectura.

2.4.1.6. Cuestionario flow in human-computer interactions (FHCI).

El cuestionario FHCI se muestra parcialmente en Webster, Trevino & Ryan (1993), presentando un constructo para definir la jugabilidad humano-computadora en términos de flow. Contiene 12 ítems, igualmente distribuidos en 4 facetas, con las que evaluaron cómo 133 estudiantes de un MBA usaban hojas de cálculo. Sin embargo, tras realizar un AFC, Webster, Trevino & Ryan (1993) sugirieron un modelo con 3 dimensiones, combinando 2 facetas en una y eliminando un ítem de la escala, mejorando su ajuste. Para concluir, estos mismos autores demostraron que la fiabilidad de la escala es buena (alfa de Cronbach = 0.82).

2.4.1.7. Cuestionario Flow Survey (FS).

Podemos encontrar un detallado cuestionario para evaluar el *flow* en contextos de navegación web de 65 ítems, desarrollado por Novak, Hoffman & Yung (2000), que codificamos como Flow Survey (FS). Tiene 4 elementos para evaluar las precondiciones de flow competencia/reto.

2.4.1.8. Escala Flow Process Scale (FPS).

Codificada como Flow Process Scale (FPS), Saxena et al. (2004), desarrollaron este cuestionario, que muestra influencias del antes citado cuestionario FS (Novak, Hoffman & Yung, 2000). La escala FPS comparte con FS su dimensionalidad, considerando el *flow* como un proceso, y su especificidad, pero presenta aspectos diferenciales sobre cuestiones negativas para lograr experiencias óptimas como:

- Cansancio físico y mental.
- Distorsión temporal.
- Abandono de otras responsabilidades.
- La adictividad que producen los entornos web.
- La falta de distinción entre realidad y virtualidad que se deriva de la telepresencia.

Finalmente, la escala FPS determina exhaustivamente las experiencias óptimas en Internet y comercio electrónico, puesto que contiene 63 preguntas agrupadas en antecedentes y consecuencias del *flow* (Saxena et al., 2004).

2.4.1.9. Escalas EduFlow.

Podemos encontrar una escala Eduflow completa en Heutte et al. (2016), así como una nueva versión (EduFlow-2), validada por Heutte et al. (2021). Dichos autores sostienen que las escalas EduFlow son adecuadas para determinar experiencias óptimas en entornos educativos, tras evaluarlas longitudinalmente en MOOCS (del inglés, Cursos Masivos Abiertos en Línea) para adultos. También las probaron con alumnado de Educación Primaria en contextos presenciales y on-line (Heutte et al., 2021). Igualmente, dichas escalas apoyan un modelo basado en tres teorías del sí mismo: auto-determinación, auto-eficacia y autotelismo-flow (Heutte et al. 2016, 2021).

2.4.1.10. Cuestionario de Ghani, Suppnik y Rooney (GSR).

Ghani, Suppnik & Rooney (1991) desarrollaron un método (codificado como GSR), apropiado para evaluar el *flow* experimentado en contextos de resolución de problemas, tanto presenciales como virtuales. Para ello, contaron con los mismos 50 estudiantes de una escuela de negocios. Dicho cuestionario contiene 12 ítems, repartidos equitativamente en 3 factores (disfrute, concentración y control), junto a dos preguntas adicionales para evaluar los retos y habilidades subjetivas de las actividades realizadas. La fiabilidad de dicha escala depende del contexto, arrojando un alfa de Cronbach de 0.87 en entornos virtuales, y 0.91 en ambientes presenciales. Además, la dimensión "control" presenta un alfa de Cronbach problemático (0.58), mientras que los demás factores tienen buenos índices (Ghani, Suppnik & Rooney, 1991). Para concluir, al comparar entornos presenciales y virtuales usando el cuestionario GSR, la prevalencia de flow es superior en entornos virtuales (Ghani, Suppnik & Rooney, 1991). Sin embargo, estos resultados deben ser interpretados con cautela, ya que los participantes realizaron primero las actividades virtuales, lo cual puede incrementar el alfa de Cronbach del segundo grupo, como previenen Ghani, Suppnik & Rooney (1991).

2.4.1.11. Cuestionario Virtual-Course Flow Measurement (VFM).

El cuestionario Virtual-Course Flow Measurement (codificado como VFM), se muestra completo en Shin (2006) y se validó en cursos online con 25 estudiantes universitarios. Contiene 21 ítems, agrupados en 5 factores latentes de primer orden (disfrute, distorsión temporal, telepresencia, atención focalizada e implicación). Hay que señalar que la fiabilidad de la faceta llamada "telepresencia" presenta un alfa de Cronbach problemático (0.63), lo cual es su principal inconveniente (Shin, 2006).

2.4.1.12. Cuestionario Flow Measurement Inventory (FMI).

El cuestionario Flow Measurement Inventory (codificacdo como FMI) se desarrolló para conocer los niveles de *flow* alcanzados en comercio electrónico, mostrando buena consistencia interna y fiabilidad (Guo & Poole, 2009). Tiene 30 ítems, validados mediante un enfoque de modelado mediante ecuaciones estructurales, con una muestra de 354 estudiantes adultos (Guo & Poole, 2009). Las conclusiones son coherentes con otros modelos en etapas, como el PAT (del inglés, Person-Artifact-Task) que desarrollaron Finneran & Zhang (2003), donde el *flow* experimentado por los sujetos debido a la tarea se distingue del atribuible a los medios empleados, como son las herramientas tecnológicas, así como por factores personales (p.e., la experiencia previa).

2.4.1.13. Escala de Agarwal & Karahanna (AK).

La escala de Agarwal y Karahanna (AK) probó buenas propiedades psicométricas para determinar el flow en el uso de software, enfocándose en navegación web (Agarwal & Karahanna, 2000). Gracias a Análisis Factorial Confirmatorio (AFC), dichos autores pudieron evaluar diversos modelos multidimensionales para explicar el constructo. Asimismo, consideraron también que existen unas dimensiones relacionadas con la tecnología y otras relacionadas con rasgos de la personalidad, teniendo ambas impacto en la experiencia óptima de navegación en Internet. También encontraron que las creencias previas de los usuarios condicionan el uso de la tecnología (Agarwal & Karahanna, 2000). El cuestionario completo es muy informativo, pero no muy ágil, ya que tiene 52 preguntas y requiere leer instrucciones intermedias para completar una dimensión denominada "autoeficacia".

2.4.1.14. Cuestionarios de flow empleados en gamificación educativa.

Agrupamos los siguientes tres cuestionarios debido a que se validaron en contextos de gamificación educativa (Deterding et al., 2011). No obstante, difieren en extensión y dimensiones. Se presentarán cronológicamente.

La primera de ellas, denominada Flow Scale for Games (codificada como FSG), se validó con 221 hablantes fineses nativos, conteniendo 25 ítems a responder con escalas Likert de 5 puntos (Kiili, 2006). Representa, además, una contextualización de una escala FSS (Jackson & Marsh, 1996) específica para gamificación, por lo que contiene también las 9 facetas del *flow* citadas en Csikszentmihalyi (2009), pero la dimensión "acción-consciente" se modificó para evaluar la dimensión "jugabilidad" (Kiili, 2006). Además, los ítems de la escala FSG se pueden diferenciar en antecedentes (alfa de Cronbach = 0.71) e indicadores de la

experiencia de flow (alfa de Cronbach = 0.74), aunque la fiabilidad de las nueve facetas es irregular (Kiili, 2006).

El cuestionario GameFlow, se desarrolló en contextos de juegos educativos (Kiili & Lainema, 2008). Contiene 45 cuestiones, divididas en 13 dimensiones para las experiencias óptimas, agrupables en antecedentes, consecuencias y estado de *flow*. No obstante, aunque la fiabilidad de los antecedentes de flow es buena (α = 0.83), algunas dimensiones (equilibrio, metas claras y jugabilidad) presentaron algunos problemas. La fiabilidad de las dimensiones en el estado de flow (α =0.81) y los antecedentes (α =0.83) también es buena (Kiili & Lainema, 2008).

Para concluir, EGameFlow (Fu, Su & Yu, 2009), es un cuestionario bien validado, fiable y largo (66 ítems), apropiado para evaluar un constructo de 8 dimensiones en juegos para eLearning. En su desarrollo participaron 166 estudiantes universitarios, siguiendo cursos con un juego específicamente desarrollado en formato digital.

2.4.1.15. Cuestionario Flow State Scale for Occupational Tasks (FSSOT).

Yoshida et al. (2013) desarrollaron el cuestionario Flow Stale Scale for Occupational Tasks (codificado como FSSOT) para medir cambios comparativos en los niveles de *flow* alcanzados por pacientes bajo terapia ocupacional. Se comparó con otros cuestionarios como el de Ottiger et al. (2021) y puede aplicarse en terapia ocupacional de baja intensidad, si no hay implicada actividad física de alto impacto. Igualmente, FSSOT requiere 14 ítems medidos con escalas Likert de 7 puntos, que se agrupan en 3 factores (Yoshida et al., 2013). La fiabilidad de la escala determinada mediante alfa de Cronbach (0.92) puede mostrar una ligera redundancia entre algunos de sus ítems. Además, se determinó su validez de contenido y convergente, pero no la sensibilidad de la escala.

2.4.1.16. Cuestionario Flow Observational Grid (FOG).

El cuestionario Flow Observational Grid, codificado como FOG, es un método desarrollado por Tordet et al. (2021), para determinar la prevalencia de *flow* observada en los participantes (estudiantes universitarios jugando a videojuegos). Dicha escala se calcula realizando la media ponderada en tanto por ciento de una rúbrica que contiene preguntas que se califican entre 0 y 4. De ella se extraen tres dimensiones (concentración, disfrute y frustración).

Además, la validez de la escala se determina mediante correlación entre sus puntuaciones estandarizadas y una escala FSS-2 de 9 ítems (Jackson, Martin & Eklund, 2008), tras cada observación. Las propiedades psicométricas del cuestionario FOG se determinaron por medio de la potencia discriminante de sus puntuaciones. Finalmente, Tordet et al. (2021) demostraron que el cuestionario FOG tiene correlaciones similares a las obtenidas mediante medidas fisiológicas (r = 0.45).

2.4.1.17. Cuestionario Flow-Clutch Scale (FCS).

Swann et al. (2022) se interesaron por los denominados como estados “embrague”. Estos son definidos como actividades de alto rendimiento que se superponen a estados de *flow*,

en los cuales existe un esfuerzo aparente elevado (recordemos que el flow se caracteriza por la ausencia de esfuerzo aparente (Swann et al., 2018)). Como consecuencia, desarrollaron y validaron el cuestionario Flow-Clutch Scale (codificado como FCS), para medir tanto los niveles de flow como de estados embrague en deporte y actividades físicas como aquellas ocasiones en que no se experimentan ninguno de los dos estados (Swann et al., 2022). Para ello, se formulan dos preguntas iniciales que conducen al participante a responder 22 preguntas específicas, de las que se extraen 4 dimensiones. Asimismo, para determinar la validez convergente del cuestionario FCS, se usó una escala FSS-2 de 36 ítems (Swann et al., 2022). Se desconoce la fiabilidad test-retest, ni la calidez convergente ni discriminante con otros cuestionarios distintos esta última escala (c.f. Swann et al., 2022).

2.4.1.18. Cuestionario Study-Related Flow inventory (WOLF-S).

El cuestionario WOLF (Bakker, 2008) es el antecedente más cercano de una escala específica para determinar experiencias óptimas en contextos de estudio, en lugar de laborales, llamada Study-Related Flow inventory (codificada como WOLF-S; Bakker, Ljubin Golub & Rijavec, 2017). Dicha escala es relativamente corta: contiene 13 ítems a responder con escalas Likert de 7 puntos. Mediante AFC se estajearon los mismos 3 factores que con el cuestionario WOLF. Asimismo, demuestra buena fiabilidad interna y validez estructural, junto con validez convergente y de constructo, usando una escala de prevalencia de *flow* (Flow Questionnaire; Csikszentmihalyi, 1975) y una escala de propensión al *flow* (Flow Scale; Mayers, 1978) como referencias.

Sin embargo, el Flow Questionnaire no está completamente validado (Moneta, 2012) y el cuestionario Flow Scale se presentó en una tesis doctoral no publicada, por lo que quedan fuera del ámbito de la revisión sistemática que estamos llevando a cabo, aunque se hará mención posterior de los mismos, al haber sido identificados mediante Teoría Fundamentada.

Además, los resultados del cuestionario WOLF-S se calculan como la media de las puntuaciones de sus ítems, así como dimensionalmente, para evaluar actividades de estudio. Considerando todas sus dimensiones, las actividades de aprendizaje y lectura son las que demuestran mayores niveles de prevalencia de flow (Bakker, Ljubin Golub & Rijavec, 2017).

2.4.1.19. Cuestionario Short Flow in Work Scale (SFWS).

El conocido como Short Flow in Work Scale (codificado como SFWS) es un cuestionario para determinar la prevalencia de *flow* en contextos laborales, a fin de comprender mejor las relaciones entre el *flow* con rasgos de motivación intrínseca y creatividad (Monta, 2012). Para validarlo, se combinaron 3 ítems de un Flow Questionnaire (Csikszentmihalyi, 1975), con un alfa de Cronbach de 0.80 y un inventario de preferencia laboral (Amabile, 1976), para evaluar su validez convergente y discriminante. Posteriormente, se evaluó la validez convergente con una escala disposicional DFS-2 de 36 ítems (Jackson, Martin & Eklund, 2008). Además, emplearon un sistema de clasificación politómica para diferenciar participantes en 3 categorías: quienes experimentan *flow* en el trabajo, los que lo hacen en actividades de ocio y los que no lo experimentan (Moneta, 2012). Cabe también reseñar que no extrajeron dimensiones de esta escala.

2.4.1.20. Cuestionario Flow Metacognitions Questionnaire (FMQ).

El cuestionario Flow Metacognitions Questionnaire (FMQ) difiere de otros métodos previamente reseñados en su objetivo: medir la consciencia y creencias de las personas sobre su propio estado de *flow*, consecuencias y estrategias para alcanzarlo y mantenerlo (Wilson & Moneta, 2016). Además, se desarrolló en contexto laborales, tiene una orientación hacia rasgos de propensión a experimentar *flow* y contiene 12 ítems. Asimismo, se extrajeron 2 factores mediante Análisis de Componentes Principales (ACP). Dichos factores se refieren a creencias sobre el estado de *flow* como un desencadenante de logros y en la confianza en la capacidad de autorregular el *flow* propio. No obstante Wilson & Moneta (2016) desvelaron que la confianza en la capacidad de autorregular el *flow* puede tener un impacto en la propia experiencia vivida, mientras que incidir en el primer factor no parece tener efectos mensurables. Finalmente, la validez concurrente de esta escala se determina mediante correlación positiva con una escala DFS-2 de 9 ítems (Jackson, Martin & Eklund, 2008), una FKS (Engeser & Rheinberg, 2008) y una SFWS (Moneta, 2012). No obstante, la validez predictiva se evaluó con un análisis de regresión jerárquico, usando metacogniciones no adaptativas, adaptativas y metacogniciones de *flow* con las tres escalas citadas (Wilson & Moneta, 2016).

2.4.1.21. Cuestionario Autotelic Personality Questionnaire (APQ).

El autotelismo es uno de los conceptos centrales de la investigación sobre el *flow* (Csikszentmihalyi, 1975). Así, la propensión a vivir experiencias óptimas, como rasgo de la personalidad, ha sido estudiado en cuestionarios como los ya referidos SFPQ (Ullén et al., 2012) y DFS-2 (Jackson, Martin & Eklund, 2008). En cambio, no se extrajeron dimensiones sobre la personalidad autotélica, por lo que Tse et al. (2020) desarrollaron el denominado Personality Questionnaire (codificado como APQ). Para ello, emplearon varios test psicométricos, como el SFPQ (Ullén et al., 2012), el Fig Five Inventory (John, Donahue & Kentle, 1991) o la escala de satisfacción con la vida (Diener et al., 1985). Respecto al resto de métodos descritos en (Jackson, Martin & Eklund, 2008), encontramos una importante diferencia, ya que contrataron a las personas que respondieron a los cuestionarios. Para resumir, el APQ tiene 26 ítems, que se responden con escalas de Likert de 7 puntos, agrupadas en 7 dimensiones de personalidades autotélicas, demostrando buena fiabilidad por medio de alfa de Cronbach (Tse et al., 2020). Además, se demostró validez discriminante y convergente, así como invarianza longitudinal y fiabilidad test-retest (Tse et al., 2020).

2.4.1.22. Cuestionario Shared Flow Scale (SFS).

Debido a que el flow en grupos no se conoce bien, se desarrolló el test Shared Flow Scale (codificado como SFS; Zumeta et al., 2016a; Zumeta et al., 2016b). Dicho test evoluciona desde una traducción al español de una DFS-1, reformulando las preguntas del singular al plural. Contiene 27 ítems, que se reparten equitativamente entre las 9 dimensiones originales de la escala DFS de la que parte (Zumeta et al., 2016a; Zumeta et al., 2016b). Si embargo, se puede consultar una versión en inglés en Zumeta et al. (2016b). La fiabilidad de la escala es elevada (alfa de Cronbach = 0.95), habiéndose probado en grandes tamborradas populares (Zumeta et al., 2016a; Zumeta et al., 2016b).

2.4.1.23. Cuestionario Flow Indicators of Musical Activities Form (FIMA).

El cuestionario Flow Indicators of Musical Activities form (codificado como FIMA) se desarrolló para evaluar la prevalencia de flow por medio de la observación directa, en lugar de mediante auto-encuesta (Custodero, 1998). Su fiabilidad se demostró en contextos educativos reales, comparando las puntuaciones otorgadas por dos investigadoras mientras revisaban grabaciones en vídeo de los participantes (niños de 4 años, en ocasiones), por lo que era necesario entrevistarlos al finalizar las actividades, para triangular resultados (Custodero, 1998; Custodero, 2005). Aun así, es un precedente del método codificado como FOG (Tordet et al., 2021), que podría ser empleado como alternativa, si se requieren otros procedimientos de validación. Finalmente, el FIMA contienen 9 indicadores afectivos y 9 comportamentales (Custodero, 1998).

2.4.1.24 Cuestionarios de Flow identificados, que no cumplieron los criterios PICOS 4.

El empleo de Teoría Fundamentada permitió identificar interesantes cuestionarios que no se pudieron incluir en la selección final debido a que no cumplían los criterios de inclusión PICOS 4. Se resumen en la tabla 2.3., junto con los motivos de exclusión.

Tabla 2.3. Cuestionarios que no cumplen los criterios PICOS 4, con su motivación. Elaboración propia.

Cuestionario	Criterios de exclusión
Flow Questionnaire (Csikszentmihalyi, 1975)	No está completamente validado (Moneta, 2012).
Flow Scale (Mayers, 1978)	Aparece en una tesis doctoral.
Experience Sampling Form (Hektner, Schmidt, & Csikszentmihalyi, 2007)	Cuestionario de tipo ESM (Perttula et al., 2017).
Cuestionario de Pearce, Anley y Howard (2005)	Es de tipo ESM y contiene preguntas abiertas.
Flow in Environment Scale (Rainisio, 2012)	Tesis en italiano, no publicada.

2.5. Dimensiones de las experiencias de flow evaluadas mediante cuestionarios.

En respuesta a la *PI2*, hemos resumido los contextos y dimensiones de cada método basado en cuestionarios en la tabla 2.4. En la primera columna, entre paréntesis, junto con el nombre codificado de cada cuestionario, señalamos los ítems del cuestionario indicado, ya que existen algunos con el mismo nombre, pero que difieren en el número de preguntas que contienen. Cuando es posible, también se indican cuantos ítems corresponden a cada dimensión extraída, también entre paréntesis.

Tabla 2.4. Resumen de contextos y dimensiones de cada cuestionario de flow.

Elaboración propia.

Método	Autor/a principal	Contextos de uso	Dimensiones de flow
FSS-1 (36)	Jackson (1996)	Actividades físicas, plásticas y de tiempo libre. Música y educación.	Competencia-Reto (4 o 6, respectivamente)
			Consciencia de acción (4 o 6, respectivamente)
			Metas claras (4 o 6, respectivamente)
			Retroalimentación no ambigua (4 o 6, respectivamente)
FSS-1 (53)			Concentración (4 o 6, respectivamente)
FSS-2 (36)	Jackson (2008)		Sentimiento de control (4 o 6, respectivamente)
FSS-2 (9)			Pérdida de auto-consciencia (4 o 6, respectivamente)
			Transformación del sentido temporal (4 o 6, respectivamente)
			Experiencia autotélica (4 o 6, respectivamente)
DFS-1 (36)	Jackson (1998)	Propensión al flow en los mismos contextos que FSS-1 and FSS-2	Idénticos a FSS-1 y FSS-2
DFS-2 (36)	Jackson (1998)		
DFS-2 (9)			
CFS (10)	Martin (2008)	Prevalencia o propensión al flow, dependiendo de instrucciones	Evalúa la experiencia de flow fenomenológicamente, no dimensionalmente
SFPQ (22)	Ullén (2012)	Propensión al flow en el trabajo, las rutinas y el ocio (3 dominios)	Concentración (1 en cada dominio)
			Equilibrio entre restos y capacidades (1 en cada dominio)
			Metas explícitas (1 en cada dominio)
			Retroalimentación clara (1 en cada dominio)
			Sentimiento de control (1 en cada dominio)
			Pérdida del sentido de aburrimiento (1 en cada dominio)
			Disfrute (1 en cada dominio)
			Una pregunta adicional para cada delimitar cada dominio
FKS (13)	Rheinberg (2003)	Curso de estadística Juegos de ordenador	Progresividad del curso que lo hace parecer auto-regulado (6)
			Absortamiento (4)
			Implicación (importancia dada a la tarea y a la motivación de logro) (3)
FKS (10)	Engeser (2008)	Curso de estadística Juegos de ordenador	Ejecución fluida (6)
			Absortamiento (4)

		Curso de francés		
WOLF (13)	Bakker (2008)	Laboral	Absortamiento (4)	
			Disfrute del trabajo (4)	
			Motivación intrínseca hacia el trabajo (5)	
RFSS (8)	Thissen (2018)	Lectura de textos de ficción	Absortamiento (3)	
			Fluidez del proceso lector (5)	
FHCI (11)	Webster (1993)	Interacción humano-ordenador	Control (2)	
			Atención focalizada (3)	
			Curiosidad/interés intrínseco (6)	
FS (66)	Novak (2000)	Búsquedas en Internet	Uso de la web (3)	
			Arousal (4)	
			Reto (6)	
			Control (4)	
			Comportamiento exploratorio (8)	
			Flow (3)	
			Atención focalizada (4)	
			Velocidad de interacción (3)	
			Importancia o adictividad (5)	
			Jugabilidad (7)	
			Afecto positivo (4)	
			Competencia (6)	
			Telepresencia (7)	
			Distorsión temporal (2)	
FPS (63)	Saxena (2004)	Usuarios de Internet y comercio electrónico	Antecedentes del flow	Reto (4)
				Competencia (4)
				Velocidad de interacción (5)
				Implicación resiliente (5)
				Control (5)
				Arousal (7)
				Telepresencia (5)
				Atención focalizada (4)
				OSL (3)
				Jugabilidad (9)
			Consecuencia del flow	Consecuencias de flow perfecto (5)
				Consecuencias de flow imperfecto (4)
				Uso de estímulos externos (1)
				Características de tareas incompletas (2)
EduFlow1 (12)	Heutte (2016)	Educación, MOOCS	Absortamiento cognitivo (3)	
			Percepción alterada del tiempo (3)	
			Pérdida de auto-consciencia (3)	
			Experiencia autotélica/bienestar (3)	
	Heutte		Control cognitivo (3)	

Eduflow2 (12)	(2021)	Educación, MOOCS, STEAM	Inmersión (3)	
			Pérdida de autoconciencia (3)	
			Experiencia autotélica / bienestar (3)	
GSR (14)	Ghani (1991)	Resolución de problemas presencial y virtual	Implicación (4)	
			Disfrute (4)	
			Control (4)	
			Competencias (1)	
			Retos (1)	
VFM (21)	Shin (2006)	Educación / cursos online	Disfrute (5)	
			Distorsión temporal (3)	
			Telepresencia (4)	
			Atención focalizada (5)	
			Implicación (4)	
FMI (30)	Guo (2009)	Comercio electrónico / Interacción humano-computadora	Equilibrio (2)	
			Metas claras (4)	
			Retroalimentación (4)	
			Concentración (4)	
			Control (4)	
			Mezcla de acción y conciencia (2)	
			Transformación del tiempo (3)	
			Trascendencia del sí mismo (3)	
			Experiencia autotélica (4)	
AK (55)	Agarwal (2000)	Entornos web	Absortamiento cognitivo (20)	
			Facilidad percibida de uso (4)	
			Utilidad percibida (4)	
			Tendencia personal a la innovación (7)	
			Jugabilidad (7)	
			Intención de uso (3)	
			Autoeficacia (10)	
FSG (22)	Kiili (2006)	Gamificación educativa	Antecedentes	Retos (2)
				Metas claras (2)
				Retroalimentación (2)
				Control (2)
				Jugabilidad (2)
			Experiencia de flow	Concentración (4)
				Distorsión temporal (2)
				Experiencia autotélica (4)
				Pérdida de consciencia de sí mismo/a (2)
EGame Flow (56)	Fu (2009)	Gamificación educativa	Concentración (8)	
			Claridad de metas (5)	
			Retroalimentación (6)	
			Reto (10)	
			Autonomía (9)	
			Inmersión (7)	
			Interacción social (6)	
			Mejora del conocimiento (5)	
				Metas (3)

GameFlow (42)	Kiili (2008)	Gamificación educativa	Antecedentes de flow	Retroalimentación (3)
				Jugabilidad (playfullness) (3)
				Reto (3)
				Jugabilidad (Gamefullness) (3)
				Narrativa (3)
			Estado de flow	Concentración (3)
				Distorsión temporal (3)
				Experiencia autotélica (3)
				Sensación de control (3)
				Pérdida de autoconsciencia (3)
			Consecuencias del flow	Comportamiento exploratorio (3)
				Aprendizaje (6)
FSSOT (14)	Yoshida (2013)	Terapia ocupacional	Sensación de control de la tarea (6)	
			Experimentar sensaciones positivas (4)	
			Experimentar absortamiento mediante la concentración en la tarea (4)	
FOG (13)	Tordet (2021)	Videojuegos	Concentración (5)	
			Disfrute (4)	
			Frustración (4)	
FCS (22)	Swann (2022)	Actividad física	Estados de flow (9)	
			Estados embrague (5)	
			Realización no esforzada durante el flow (3)	
			Características que se solapan (5)	
WOLF-S (13)	Bakker (2017)	Durante el estudio de diferentes materias	Absortamiento (4)	
			Disfrute por el trabajo (4)	
			Motivación intrínseca por el trabajo (5)	
SFWS (3)	Moneta (2012)	Contextos laborales	No extraen dimensiones	
FMQ (12)	Wilson (2016)	Entornos laborales	Creencia en que el flow fomenta los logros (6)	
			Confianza en la habilidad para auto-regular el flow (6)	
APQ (26)	Tse (2020)	Empleados/as de Amazon Mechanical Turk	Curiosidad (4)	
			Persistencia (4)	
			Dejar de centrarse en sí mismo/a (4)	
			Motivación intrínseca (4)	
			Disfrute-transformación de los retos (3)	
			Distrute-transformación del aburrimiento (4)	
			Control de la atención (3)	
SFS (27)	Zumeta		Equilibrio entre retos/capacidades (3)	

	(2016a)	Deportes grupales y grandes tamborradas populares	Fusión de acción y consciencia (3)
			Metas cercanas claras (3)
			Retroalimentación directa y no ambigua (3)
			Atención centrada en la actividad (3)
			Sensación de control sobre las acciones propias (3)
			Pérdida de autoconsciencia (3)
			Pérdida del sentido temporal/aceleración del tiempo (3)
			Experiencia autotélica (3)
FIMA (18)	Custodero (1998)	Actividades escolares musicales	Indicadores afectivos (9)
			Indicadores comportamentales (9)

2.6. Limitaciones de uso de los cuestionarios de flow según su proceso de desarrollo y validación.

En respuesta a la *PI3*, definimos limitaciones generales de los métodos de investigación basados en cuestionarios, luego limitaciones generales de los cuestionarios de *flow* validados y finalizamos con las limitaciones declaradas por quienes desarrollaron cada método, extraídas mediante Teoría Fundamentada.

En primer lugar, los cuestionarios reciben algunas críticas generales en la literatura científica. En particular, los participantes pueden no ser honestos en sus respuestas (Quattrone, 1985), las responden al azar (Bradburn, 1978), o pueden verse afectadas por variables externas, como el tiempo (Hancock, 1986), el estado de ánimo (Lane, 2007) o la hora del día (Allen et al., 2008). Asimismo, pueden aparecer sesgos debidos a la inteligencia emocional y el modo en que son formuladas las preguntas (Heutte et al., 2021). Además, en los cuestionarios no quedan reflejadas emociones inconscientes (Pirsoul, Parmentier, & Nils, 2019) y los resultados pueden verse influenciados por la deseabilidad social o la cultura, debido a diferencias semánticas (Pekrun, 2020). Asimismo, resulta una clara limitación el hecho de no poder preguntar constantemente a los participantes sobre el desarrollo de las actividades, ya que se interrumpen o se compromete su comportamiento natural (Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007). Asimismo, los recuerdos pueden estar distorsionados en la memoria al evocarlos (Jackman et al., 2021; Heutte et al., 2021; Shin, 2006).

Además, en general, los cuestionarios se desarrollan de manera muy contextualizada a una actividad o situación que pueden evaluar, como los cuestionarios FHCI (Webster, Trevino, & Ryan, 1993) o FSG (Kiili, 2006), referidos a un software específico. Ello impide usarlo directamente en otros contextos sin modificarlos o someterlos a un nuevo proceso de validación. Igualmente, sabemos que las preguntas de los cuestionarios se seleccionaron usando definiciones previas, otros cuestionarios y modelos de *flow*, y el número de preguntas está condicionado por el uso final del cuestionario (p.e., largos, para desarrollar modelos detallados, y cortos para trabajos de tipo ESM).

Por otro lado, podemos distinguir cuestionarios en función de su principal propósito: medir la prevalencia del *flow* (la mayoría), su intensidad (FSS-1; Jackson & Marsh, 1996), el *flow* compartido (SFS; Zumeta, 2016a), observado (FOG; Tordet et al., 2021 y FIMA; Custodero, 1998), o sus metacogniciones (FMQ; Wilson & Moneta, 2016). Asimismo, encontramos dentro de los propósitos determinar rasgos de personalidad autotélica (APQ; Tse, 2020) y para evaluar su propensión a experimentarlo (DFS; Jackson et al., 1998, DFS-2; Jackson, Martin & Eklund, 2008, CFS; Martin & Jackson, 2008, SFPQ; Ullén et al., 2012). Por ello, la propensión a alcanzar el estado de flow es importante, ya que, con personalidades no autotélicas, los cuestionarios pueden no ser útiles (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1992).

Asimismo, observamos sendas diferencias en las dimensiones del *flow* que emplea cada instrumento para evaluarlo, por lo que no se sabe si faltan componentes por identificar o la fenomenología depende de la actividad desarrollada (Goddard et al., 2021). Tampoco existe acuerdo con respecto a qué dimensiones deben considerarse antecedentes, consecuencias o factores de la experiencia central del *flow*, (c.f. FMI; Guo & Poole, 2009 y FSG; Kiili, 2006). Igualmente, las escalas de prevalencia se usan para predecir la excelencia en la realización de las tareas investigadas, pero dicha predictibilidad está muy ligada a los contextos en los que se desarrolla el cuestionario. Por ejemplo, en un estudio correlacional, la escala FKS predecía el nivel de realización de dos cursos, pero no jugando a un videojuego clásico, como el Pac-man (Engeser & Rheinberg, 2008). Por consiguiente, la elección de un cuestionario particular impone un sesgo a los resultados de una investigación.

También se ha encontrado que, algunos cuestionarios, pueden incluir factores que no están completamente claros, como los que se refieren al concepto de equilibrio entre competencias y retos (c.f. Løvoll & Vittersø, 2014), como son FKS (Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003; Engeser & Rheinberg, 2008), FPS (Saxena et al., 2004), FS (Novak, Hoffman, & Yung, 2000), FSG (Kiili, 2006), GameFlow (Kiili & Lainema, 2008), EGameFlow (Fu, Su & Yu, 2009) y FMI (Guo & Poole, 2009). Además, excepto en los casos de FPS (Saxena et al., 2004) o FS (Novak, Hoffman, & Yung, 2000), los cuestionarios no incluyen preguntas sobre experiencias negativas que pueden ser parte del proceso que está teniendo lugar, dulcificando las situaciones estudiadas Tordet et al. (2021).

También apreciamos ambigüedades en las instrucciones de los cuestionarios y la no extracción de dimensiones, ofreciendo un agregado que dificulta la interpretación de los resultados. Por ejemplo, en el cuestionario SFPQ puede resultar contradictoria la pregunta "Cuando realizas tareas del hogar (p.e., cocinar, limpiar o comprar) con qué frecuencia sucede que…" (Ullén et al., 2012, p. 169), ya que alguien puede divertirse comprando, pero aburrirse mientras limpia, o no realizar ninguna de estas tareas.

Otras veces, Swann et al. (2018) sugieren que algunas escalas muestran limitaciones debido a que los estados de *flow* en el deporte se pueden solapar con estados embrague, que difieren en el esfuerzo aparente realizado por los participantes, como por ejemplo en las escalas FSS-1 (Jackson & Marsh, 1996), FSS-2 (Jackson, Martin & Eklund, 2008) y CFS (Martin & Jackson, 2008). Es por ello que nos preguntamos si esta apreciación pudiera generalizarse a otros contextos, como la música o la educación, en donde dichas escalas han sido utilizadas para evaluar el flow, o ser una consecuencia de una pobre parametrización de los estados de flow, como sugieren Swann et al. (2018).

Aparte de lo anterior, como desventaja de algunos cuestionarios ágiles con un solo ítem para cada dimensión, Engeser et al. (2020) informan de que ello no es aceptable psicométricamente. Ello puede ser parcialmente algo a considerar cuando se usan los

cuestionarios GSR (Ghani, Supnick & Rooney, 1991) o FKS [Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003; Engeser & Rheinberg 2008), debido a que las variables competencia y reto se miden con un solo ítem.

Además, observamos un sesgo derivado del empleo de datos de partida no balanceados, en algunos casos. En este sentido, como limitaciones del WOLF, Bakker (2008) advierte que los participantes en su estudio solo alcanzaron niveles de baja intensidad de flow, lo cual puede sesgar los resultados (los empleos resultaban monótonos y había pocos ejemplos de empleos atractivos). Asimismo, Engeser et al. (2012) consideran que algunos métodos, como el WOLF, podría depender de la naturaleza autotélica de la experiencia de *flow*, de manera que, su validez, sea menor.

A continuación, en la tabla 2.5 resumimos las limitaciones que los propios autores identificaron en sus cuestionarios, las cuales extrajimos por medio de Teoría Fundamentada. Junto al método, indicamos la referencia y la fuente que informa sobre la existencia de dicho cuestionario (fase y referencia indirecta, si la hay). Con ello, se facilita la reproducibilidad de los resultados, que evaluamos en la fase 8 de la revisión sistemática. Dicha tabla se publicó en Rosas, Padilla-Zea y Burgos (2022).

Tabla 2.5. Resumen de limitaciones declaradas de cada cuestionario, extraídas con Teoría Fundamentada, las referencias y fuentes de información. Traducida y adaptada de Rosas, Padilla-Zea y Burgos (2022).

Método (ítems)	**Autoría principal**	**Fuente**	**Limitaciones declaradas**
FSS-1 (36) FSS-1 (53)	Jackson (1996)	Fase 3 Dellefave (2011)	- Limitaciones generales de los métodos basados en cuestionarios
FSS-2 (36) FSS-2 (9)	Jackson (2008)	Fase 1	- El constructo es una representación parcial de la experiencia de flow - Limitaciones generales de los métodos basados en cuestionarios
DFS-1 (36)	Jackson (1998)	Fase 3 Dellefave (2011)	- Sesgo en la edad de los participantes (atletas mayores) - No supervisaron el momento en el que los participantes contestaron los cuestionarios
DFS-2 (36) DFS-2 (9)	Jackson (2008)	Fase 1	- El constructo es una representación parcial de la experiencia de flow - Limitaciones generales de los métodos basados en cuestionarios
CFS (10)	Martin (2008)	Fase 2 Ottiger (2021)	- Los resultados son preliminares - Menos destalle que en cuestionarios largos (FSS, DFS) - Experiencia agrupada y promediada de la experiencia - Limitaciones generales de los métodos basados en cuestionarios

SFPQ (21)	Ullén (2012)	Fase 2 Peifer (2022)	- No declaran limitaciones
FKS (13)	Rheinberg (2003)	Engeser (2012) (sugerida por expertos)	- Premisas experimentales sesgadas: - No demostrado que en un grupo experimental hubiese más individuos con probabilidad de éxito - No probado que en un segundo grupo hubiese más participantes con miedo al fracaso
FKS (10)	Engeser (2008)	Fase 3 Engeser (2012)	- No declaran limitaciones
WOLF (13)	Bakker (2008)	Fase 1	- Sesgo en la selección de participantes (no se dan altas puntuaciones de flow) - Sesgo experimental: no hay otras medidas de las condiciones de trabajo que los autoinformes - Limitaciones generales de los métodos basados en cuestionarios
RFSS (8)	Thissen (2018)	Sugerida por el autor	- Sesgo en la selección de los participantes (representatividad, antecedentes, nivel educativo, género y solo participan personas que experimentan flow al leer) - Condiciones de investigación no controladas (no en un laboratorio)
FHCI (11)	Webster (1991)	Fase 2 Ottiger (2021)	- Los datos proceden de un estudio transversal, son perceptuales y sujetos a varianza compartida - Los resultados podrían no ser objetivos - Sesgo en la selección de la muestra (pequeño tamaño) - Método en estado inicial de desarrollo
FS (66)	Novak (2000)	Fase 4 Saxena (2004)	- Las medidas de telepresencia y dimensiones de interactividad podrían ser mejoradas
FPS (63)	Saxena (2004)	Sugerida por el autor	- Sesgo en la selección de la muestra (no representativa; predominan los usuarios web avanzados)
EduFlow-1 (12)	Heutte (2016)	Fase 2 Peifer (2022)	- No declararon limitaciones
EduFlow-2 (12)	Heutte (2021)	Fase 2 Peifer (2022)	- Limitaciones generales de los métodos basados en cuestionarios

GSR (12)	Ghani (1991)	Fase 4 Agarwal (2000)	- Problema psicométrico: las dimensiones competencia y reto se evalúan con un solo ítem - Sesgo en las condiciones experimentales: un grupo anónimo y el otro no - Los participantes realizan las actividades en secuencias
VFM (21)	Shin (2006)	Sugerido por el autor	- La dimensión "telepresencia" muestra un alfa de Cronbach bajo (0.63)
FMI (30)	Guo (2009)	Fase 2 Peifer (2022)	- Es difícil definir y medir la complejidad de una web - Sesgo en la ocupación de los participantes (estudiantes universitarios)
AK (52)	Agarwal (2008)	Fase 4 Guo (2009)	- Sesgo en la ocupación de los participantes (estudiantes) - Sesgo en la edad de los participantes (jóvenes) - Sesgo de contexto: lugar de trabajo - Cuestionario no generalizable a otras tecnologías que no sean web - Varianza compartida entre cuestionarios al aplicarse a la vez
FSG (25)	Kiili (2006)	Fase 2 Perttula (2017)	- Método en un estadio inicial de desarrollo - Sesgo en las condiciones experimentales: los juegos seleccionades era sencillos
GameFlow (45)	Kiil (2008)	Fase 2 Perttula (2017)	- Método en un estadio inicial de desarrollo - Muestra de pequeño tamaño - La claridad de algunos ítems podría mejorarse (retos, metas, jugabilidad y comportamiento exploratorio) - Los ítems de la dimensión reto deberían redefinirse para considerar las actividades del juego utilizado - Las actividades sobre control de juego deberían pertenecer a la dimensión jugabilidad y se tratan de manera independiente
EGameFlow (66)	Fu (2009)	Fase 2 Perttula (2017)	- Riesgo de que los participantes se cansen de responder al cuestionario, debido a su gran extensión - Sesgo en las condiciones experimentales: no se seleccionan juegos variados - Sesgo en la selección de la muestra (tipo de usuarios) - Sesgo en condiciones experimentales: los juegos seleccionados eran sencillos
FSSOT (14)	Yoshida (2013)	Fase 2	- La escala evalúa cambios relativos en el flow, no el flow en términos absolutos - La escala es adecuada para actividades de ocio con baja intensidad física

		Ottiger (2021)	- La sensibilidad no ha sido determinada - Sesgo en la selección de la muestra (hablantes japoneses sin discapacidad)
FOG (13)	Tordet (2021)	Fase 1	- Sesgo en la selección de la profesión o actividad (estudiantes) - Sesgo en las condiciones experimentales sesiones cortas) - La intensidad del flow puede variar durante las tareas
FCS (22)	Swann (2022)	Fase 1	- Fuentes de datos no balanceados
WOLF-S (13)	Bakker (2017)	Fase 1	- Sesgo en la selección de la muestra y contexto (trabajadores)
SFWS (3)	Moneta (2012)	Fase 1 Wilson (2016)	- Sesgo en la selección de la muestra y contexto (trabajadores con alto nivel educativo) - Sesgo en la selección de la muestra (pequeño tamaño) - Las oportunidades para la creatividad en el trabajo necesitan más investigación - El cuestionario mide la prevalencia del flow, no la intensidad
FMQ (12)	Wilson (2016)	Fase 1	- Sesgo en la selección de la muestra (adultos australianos angloparlantes) - Sesgo en las condiciones experimentales (tipos de trabajos/actividades)
APQ (26)	Tse (2018)	Fase 1	- No todos los expertos en la materia consultados consideran esenciales los atributos incluidos en el método - Método en un estado inicial de desarrollo - Sesgo en el empleo de los encuestados (MTurk) - Sesgo en el tipo de actividades realizadas
SFS (27)	Zumeta (2015)	Fase 2 Pels (2018)	- El tiempo entre estudios longitudinales debería ser mayor - Pérdida de participantes debido a que el estudio es longitudinal - Sesgo en la selección de la muestra (prevalencia de mujeres y estudiantes)
FIMA (18)	Custodero (1998)	Fase 1 Tordet (2021)	- Sesgo en la selección de la muestra (niños pequeños)

2.7. Sumario sobre métodos de medida del flow basados en cuestionarios.

En respuesta a la *PI1*, identificamos 39 métodos para determinar el *flow* usando cuestionarios (ver tablas 2.4 y 2.5). No obstante, solo 34 métodos cumplían los criterios

PICOS 4, correspondiendo a escalas no ESM publicadas en inglés, presentes en artículos empíricos o capítulos de libros revisados por pares. Además, aunque existen diferencias en la calidad de la evaluación con MMAT entre los trabajos seleccionados (ver anexo 3), no se elimina ninguno, como sugieren Hong et al., (2019). Concretamente, los métodos fueron codificados como así: FSS-1, DFS-1, CFS, FSS-2, DFS-2, SFPQ, FKS, WOLF, RFSS, FHCI, FS, FPS, EduFlow-1, EduFlow-2, GSR, VFM, FMI, AK, FSG, EGameFlow, GameFlow, FSSOT, FOG, FCS, WOLF-S, FMQ, SFWS, APQ, SFS y FIMA. De ellos, 18 son cortos (entre 3-13 preguntas), 6 tienen entre 18 y 27 ítems, mientras que 10 son bastante detalladas (entre 30 y 66 cuestiones). En consecuencia, son adecuadas para diferentes métodos de investigación. En este sentido, los cuestionarios cortos se emplean cuando desea evitarse la fatiga del encuestado (c.f. Bradburn, 1978). En cambio, los cuestionarios cortos tienen la desventaja de que describen modelos de *flow* menos detallados y, cuando en los casos en los que solo tienen un ítem para cada definir cada dimensión del *flow* (v.g., CFS o escalas cortas FSS-DFS), solamente son apropiados para investigación fenomenológica (Engeser et al., 2012; Martin & Jackson, 2008).

Asimismo, hemos descrito la dimensionalidad de dichos cuestionarios en respuesta a la *PI2*. Concretamente, los investigadores extrajeron entre 2 y 14 dimensiones de experiencias óptimas de dichos cuestionarios. También identificamos 63 dimensiones diferentes (ver tabla 2.4), fuertemente mediadas por el contexto (al menos, 29 diferentes), así como su objetivo. Debido a ello, son apropiados para determinar la intensidad del *flow* (FSS-1), la prevalencia (la mayoría de ellos), la propensión a experimentar *flow* (DFS, CFS, SFPQ), sus cambios relativos (SFWS), metacogniciones (FMQ), en grupos (SFS), flow observado (FOG, FIMA), así como desagregado en dimensiones de personalidades autotélicas (APQ). Además. solo un cuestionario distingue entre estados flow/embrague (FCS), que se diferencian principalmente en el nivel de esfuerzo aparente ejercido. Sin embargo, en algunos cuestionarios (GameFlow, FSG, FPS), las dimensiones evalúan antecedentes, consecuencias y rasgos de la experiencia central del *flow*, sin acuerdo con respecto a las que habría que incluir en cada caso. Otros cuestionarios distinguen entre el flow asociado a los medios usados (p.e., ordenadores, software, materiales…) como el FMI, mientras que son pocos los que consideran aspectos negativos de la experiencia (FPS, FOG).

Además, encontramos limitaciones específicas y generales para cada método, de acuerdo con la *PI3* (ver tabla 2.5). Para no ser reiterativos, esta vez nos centramos en limitaciones meta analíticas que afectan también a este trabajo. El principal problema es encontrar resultados limpios y amplios en buscadores científicos sobre la Teoría Flow, ya que los principales términos de búsqueda son muy polisémicos con otras disciplinas. Otros trabajos pueden pasar desapercibidos, ya que sus títulos poco parecen tener que ver con la teoría que nos ocupa, o que pudiese contener un cuestionario validado. Igualmente, las revisiones sistemáticas y narrativas analizadas imponen limitaciones a contextos muy particulares del flow. Por ello, cualquier trabajo reciente puede estar sesgado desde sus comienzos, de manera no intencional. Más aun, en este trabajo, usamos Teoría Fundamentada para llevar a cabo el análisis de contenidos de los textos seleccionados y para identificar estudios potencialmente incluibles, pero, el principio de saturación y el presupuesto también imponen limitaciones a destacar (Charmaz, 2006). Por ello, en ocasiones, incluimos algunos trabajos a sugerencia de expertos.

Finalmente, estamos parcialmente de acuerdo con Knierim et al. (2017), cuando aseveran que la Teoría Flow está aproximándose a un punto de crisis debido a inconsistencias en su definición y a problemas encontrados en los métodos de medidas, particularmente, en los cuestionarios. Por ello, proponen un cambio a una teoría más práctica. Profundizaremos en estos métodos en el siguiente apartado.

2.8. Métodos fisiológicos.

El empleo de medidas fisiológicas en simulaciones por computador, para tratar de determinar estados emocionales y motivacionales, es conocido desde los trabajos pioneros de Atkinson, Bongort & Price (1977). No obstante, los métodos fisiológicos en la Teoría Flow han sido utilizados desde finales de los años 80, como se aprecia en una primera aproximación que encontramos en Csikszentmihaly & Larson (1987, p.531-532). Aunque no era el objeto principal de su estudio, mostraron que pueden existir correlaciones entre medidas fisiológicas (ritmo cardiaco en conjunción con movimientos en muñeca y tobillo) y preguntas de un cuestionario no validado. En ese caso, para una muestra de 10 sujetos, encontraron correlación significativa entre la cuestión "Cómo de activo ha estado usted en los últimos 3 minutos", respondida en una escala Likert de 10 puntos, con las medidas fisiológicas citadas.

Más adelante, fueron perfilándose modelos fisiológicos de gran trascendencia general para la Teoría Flow, tales como el modelo de Lang (Lang et al.,1993; Lang, 1995; Lang, Bradley & Cuthbert, 1997) o el Modelo Circumplejo del Afecto de Posner, Russell & Peterson (2005). En ambos, se establece una clasificación de estados emocionales con dos ejes cartesianos perpendiculares (valencia o placer) y (arousal o activación), los cuales generan 4 cuadrantes. En este sentido, el cuadrante donde se dan niveles moderados de activación y valencia positiva se relaciona con estados emocionales positivos asociados al *flow* (Manzano et al., 2010; Mauri et al., 2011; Klarowski et al., 2016; entre otros), mientras que los mejores niveles de competencia en la realización de una tarea siguen con la variable arousal una curva parabólica que presenta un máximo (Peifer et al., 2014). Todo ello nos ofrece una panorámica de la complejidad de los procesos involucrados, ya que el *flow* es un estado alterado de consciencia (Kotler et al., 2022) en el que se activan áreas cerebrales de recompensa (Linden, Tops & Bakker, 2020) y de introspección (Sadlo, 2016), de manera no lineal (Valenza, Lanata & Scilingo, 2011), que pueden estar o no relacionados con los estados emocionales que, efectivamente, sentían los sujetos (Linden, Tops & Bakker, 2020). Dichos estados emocionales forman parte de modelos de gran influencia en el desarrollo de la Teoría Flow, que veremos en el capítulo 8. En cualquier caso, la Figura 2.3 muestra los modelos de Lang y el Modelo Circumplejo del Afecto (MCA).

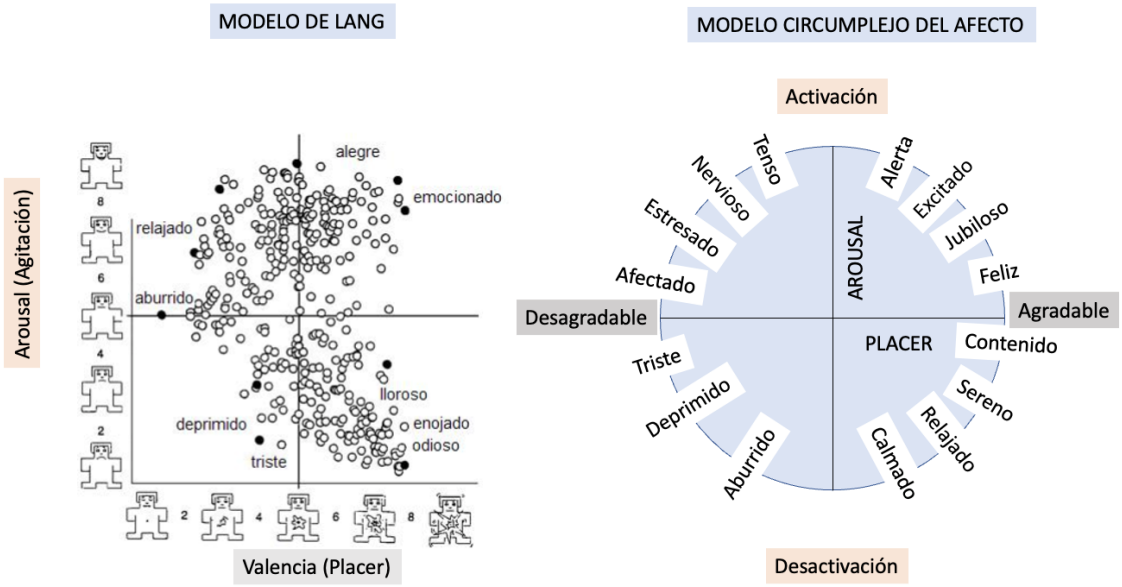


Figura 2.3. Izquierda: Modelo de Lang (1993). Derecha: Modelo Circumplejo del Afecto (Posner, Russell & Peterson, 2005). Adaptado de los autores.

Una vez conocida la problemática general a la que nos enfrentamos, pasamos a analizar trabajos donde se incluyan revisiones sobre la fisiología del *flow*, de manera que podamos identificar áreas de interés para el estudio. Es por ello que llevamos a cabo un metaanálisis narrativo de las revisiones recientes que en esta materia abordaron Tozman et al. (2015), Tozman & Peifer (2016), Knierim et al. (2018), Khoshnoud, Igarzábal & Wittmann (2020), Linden et al. (2020), Gold & Ciorciari (2020) y Kotler et al. (2022), completándola con otros estudios individuales conocidos por otras fuentes. De ellos, nos interesamos en identificar las técnicas fisiológicas, computacionales (o estadísticas) y cuestionarios de *flow* que se han utilizado, los tamaños de muestra, contextos y condiciones experimentales de los estudios. Para ello, presentamos y adaptamos un resumen en la tabla 2.6, generada a partir de otras tablas presentadas por los autores citados, que comentaremos a continuación. Para su adaptación, ha sido necesario revisar individualmente cada referencia que citan, para revisar los trabajos y así extraer de todas ellas la misma información, a fin de homogeneizar dicha tabla.

Con respecto a las técnicas fisiológicas utilizadas, vemos en la tabla 2.6 que existe una gran heterogeneidad, tanto en su fundamento e instrumental, como en los parámetros extraídos y en el modo en el que se combinan. No obstante, se emplean técnicas para analizar la actividad cerebral, como electroencefelógrafos (EEG) y de resonancia magnética (fMRI). Asimismo, la actividad cardiaca y circulatoria se ha estudiado por medio de electrocardiología (ECG) y fotopletismografía (FPG), obteniendo valores del rimo cardiaco (HR) y de su variabilidad (HRV), así como con tensiómetros. Además, se ha estudiado la actividad electromuscular (EMG), especialmente en los músculos *corrugator supercilii* (CS) y cigomáticos (ZS) y ocular orbicular (OO), movimientos de las extremidades corporales (acelerómetros) y respiratorios (FR), así como la resistividad de la piel (EDA). También, hay quienes realizan un seguimiento de los movimientos oculares para determinar dónde fija la visión una persona y la dilatación pupilar (DP). Finalmente, son empleados métodos basados en detectores químicos, como el cortisol, que es una hormona segregada en situaciones de estrés. En la selección de dichas técnicas, influyen factores como los objetivos de investigación, el tamaño de los aparatos, su portabilidad, costes, nivel de precisión y tiempo que duran los experimentos.

Seguidamente, nos interesamos en conocer las técnicas computacionales o estadísticas empleadas para conocer las relaciones existentes entre el *flow* y los parámetros fisiológicos extraídos. En ello, apreciamos diferencias en cuanto a su complejidad, donde solo en un caso se emplean en el ámbito de la inteligencia artificial (c.f. Michailidis et al., 2019). Así, por lo general, los investigadores usan más bien contrastes de hipótesis y técnicas correlacionales (v.g. ANOVA, MANCOVA, etc.), en línea con la estadística tradicional. En cambio, entre las técnicas utilizadas en el ámbito de la inteligencia artificial, el espectro va desde las regresiones lineal, cuadrática y múltiple (c.f. Chin & Kales (2019)), pasando por técnicas de clasificación como máquinas de soporte de vectores (SVM), k vecinos próximos (KNN) o Random Forest (cf. Michailidis et al., 2019 y Chanel et al., 2008).

En cuanto a los tamaños de muestra, parecen muy variables, aunque modestos (entre 2 y 120 personas), donde los sujetos experimentales son adultos que participan individualmente en las actividades. Dichas actividades tienen lugar en sesiones aisladas, de escasa duración (entre 5 y 45 minutos), en condiciones de laboratorio.

Además, apreciamos un espectro constreñido respecto a los contextos de estudio, destacando aquellos en los que se emplean sobre todo en juegos y videojuegos y, en menor medida, en tareas cognitivas (c.f. Ulrich et al., 2013) y musicales (c.f. De Manzano et al. (2010). No obstante, en un trabajo aparte de la selección de revisiones bibliográficas de la que partimos, Seo et al. (2021) estudian contextos de gamificación laboral.

Asimismo, debemos señalar que se han usado distintos cuestionarios completos para determinar la prevalencia o intensidad del *flow,* como el ESF (ESM), FKS, FSS y CFS. En cuanto a los de propensión a experimentar *flow*, solo encontramos dos ejemplos donde se utilizan las escalas DFS-2 y SFPQ (c.f. Michailidis et al., 2019; Ulrich et al., 2013). En algunas ocasiones, vemos que se toman solo algunas dimensiones o ítems de éstos ya nombrados, o que forman parte de alguna dimensión de cuestionarios específicos (c.f. Murch et al., 2017; Léger et al., 2014; Drachen et al., 2010; Chanel et al., 2008; Ulrich et al., 2013). Ello constituye una pequeña fracción de los cuestionarios que conocemos y hemos descrito profusamente en esta tesis, con el añadido de que DFS-2, DFS-2 y CFS están íntimamente relacionados.

Por otra parte, como se aprecia en la tabla 2.6, se han verificado correlaciones lineales con distinta pendiente entre los cuestionarios de *flow* y distintos parámetros fisiológicos, mientras que, en otros casos, encontraron formas en U invertida, por lo que no existe consenso en las relaciones encontradas. Así, por ejemplo, en los trabajos de Bian et al. (2016) y Gaggioli et al. (2013), demuestran relaciones lineales con pendiente positiva entre el ritmo cardiaco (HR) y las escalas de *flow* empleadas, mientras que, en De Manzano et al. (2010), Drachen et al. (2010) y Léger et al. (2014), la relación es inversa. En cambio, Harmat et al. (2015) y Murch, Chu, & Clark (2017) no encontraron relación significativa entre HR y las escalas de *flow* empleadas.

Tabla 2.6. Resumen tabular de los trabajos sobre fisiología del flow analizados. Elaboración propia a partir de *Tozman et al. (2015), Tozman & Peifer (2016), Knierim et al. (2018), Khoshnoud, Igarzábal & Wittmann (2020), Linden et al. (2020), Gold & Ciorciari (2020) y Kotler et al. (2022).*

Referencia	Fisiología	Escala de flow	Muestra	Contexto	Análisis	Relaciones flow-fisiología
Michailidis et al. (2019)	HR HRV	DFS-2	29 adultos	Videojuegos de realidad virtual	SVM, KNN. CART	En los modelos de clasificación se aprecia correlación inversa entre HR y flow, pero en la zona intermedia hay más errores de clasificación
Keller et al. (2011)	HRV (RMSSD)	FSS	8 adultos	Juego Quién quiere ser millonario	Contraste estadístico	Correlación negativa
	Cortisol	FSS	61 adultos	15 minutos jugando al Tetris	Contraste estadístico	Correlación positiva entre hormona y dificultad de la tarea
De Manzano et al. (2010)	Presión arterial sistólica (PAS) Presión arterial diastólica (PAD) Flujo Cardiaco (FC) HR, HRV(HF)	FSS-2	18 adultos	Musical (pianistas)	Test de Page para Alternativas Ordenadas (PTOA)	(PAS) Correlación negativa (PAD) Correlación positiva (FC) Correlación negativa HR Correlación negativa HRV (HF) Correlación negativa
Peifer et al. (2014)	HRV Cortisol	FKS	22 adultos	Simulador de vuelo durante 60 minutos	Modelo lineal de regresión jerárquico usando SPSS	HRV (LF) U invertida HRV (HF) Correlación positiva bajo estrés
Tozman et al. (2016)	HRV	FKS	15 adultos	Juegos	ANOVA	HRV (LF)

						correlación negativa HRV (HF) Curvilínea bajo estrés
Tozman et al. (2015)	Cortisol	FKS	65 adultos	Ajedrez	ANOVA	No está clara o no encontrada
de Sampaio et al. (2018)	HRV (HF) HR Respiración Oxigeno cerebral	FKS	20 adultos jóvenes	Videojuegos en cuatro niveles de dificultad (Pong y Tetris)	Estudio correlacional	HR: menor en el nivel fácil y mayor en el difícil HRV: En el nivel fácil es mayor BR: menor en el nivel fácil y en el óptimo O_2Hb: U invertida entre niveles de dificultad y parámetros cerebrales
Chin & Kales (2019)	HRV (HF/LF)	FSS-2 corta	48 adultos	Tareas de atención (Test de Stroop)	Regresión cuadrática	U invertida, con predominio de actividad simpática durante experiencias óptimas
Kivikan-gas (2006)	EMG, EDA	FSS	32 adultos	Videojuego "Halo" (40 minutos)	Correlación	Correlación inversa entre flow y actividad del CS
Chanel et al. (2008)	EDA, HR	Ítems de escalade flow	20 adultos	Tetris (5 min.)	SVM	Correlación positiva con la dificultad
Mansfield, et al. (2012)	HRV	CFS	17-40 adultos	Videojuego	ANOVA	HRV disminuye en estado de flow
Nacke & Lindley (2008)	FEMG, EDA	Evalúa parte del GEQ	19–38 adultos	Videojuegos tipo Half-Life2, por 10 min en 3 niveles de dificultad	ANOVA	Valores más altos de EDA y músculo cigomático durante el flow
Harris, Vine & Wilson (2016)	HR, HRV, lugar al que mira la persona	FKS-10	33 adultos	Juego de simulación de carreras con tres	ANOVA	Menor desviación estándar del movimiento

				niveles de dificultad		ocular horizontal y HRV (HF) en flow. En nivel medio de dificultad, HR a lo largo del tiempo tiene forma de U invertida, pero no en niveles bajos y altos de dificultad
Harmat et al. (2015)	fNIRS, ECG, FR	FSS-2	77 adultos	Tetris: 6 minutos con 3 niveles de dificultad creciente	Modelos lineales y test HSD de Tukey	Incremento en frecuencia respiratoria y disminución de LF durante el flow
Bian et al. (2016)	ECG, HR, HRV, Res, CS, ZS, OO	FKS	36 adultos	6 minutos de juego de realidad virtual	Regresión lineal y cuadrática	U invertida entre flow y HRV (LF y HF) Correlación positiva HR/flow
Gaggioli et al. (2013)	HR, HRV	ESM	15 adultos	Actividad cotidiana	Regresión multinivel	Incremento de HR y disminución LF/H, suponiendo incremento relative de actividad simpática
Drachen et al. (2010)	EDA, HR	Ítems de escala flow	12 adultos	Videojuego tipo Doom3, durante 20 minutos con tres niveles de dificultad	Correlación de Pearson para una sola característica cada vez	Correlación negativa HR y EDA con el flow
Léger et al. (2014)	ECG, EDA, EEG, HR	CA	36 adultos	Software de recursos empresariales en tres niveles de dificultad creciente	Análisis de regresión (OLS)	Menor variación en EDA, menor HR y mayor HRV con la variable absortamiento cognitivo
Tian et al. (2017)	ECG, Res, EDA	FKS	40 adultos	Videojuego durante 6 minutos, en	ANOVA	Mayor FR

				tres niveles de dificultad		HR, HRV y EDA moderadas en el flow
Kozhevnikov et al. (2018)	ECG	FSS-1	Hasta 56 adultos en tres experi-mentos	Videojuego Unreal Tournament 2004, 30 min. en niveles fácil, moderado y difícil	ANOVA	Menor HRV (HF) durante el flow
Moreno et al. (2020)	EDA, EEG	FSS-2	2 adultos	Portal de videojuegos y escritura, 45 minutos	ND	Aumenta EDA cuando los jugadores están ganando
Murch et al. (2017)	Arritmia sinusal respiratoria (RSA)	Dimensión *flow* del GEQ	74 adultos	Juegos de azar durante 20 minutos	Estudio correlacional	Correlación inversa
Ulrich et al. (2013)	fMRI HRV (HF-LF)	SPFQ	23 adultos	Tareas aritméticas	ANOVA	U invertida con LF Correlación positiva con HF
Peifer et al. (2015)	Cortisol	FKS	64 adultos	Videojuego (Pacman)	ANOVA	U invertida entre flow y cortisol ¿U invertida entre flow y arousal?
Mauri et al. (2016)	DP, HRV, EDA, EEG, ZS, Resp.	CFS	30 adultos	Comparan 3 condiciones: relax, usando Facebook y bajo estrés	T-Test	IBI: curva decreciente EDA: curva ascendente Resp.: Correlación positiva ZM: curva ascendente DP: curva en U
Klarowski et al. (2016)	EDA	ND	120	Videojuegos en tres niveles de dificultad	ANOVA	Correlación positiva entre EDA y flow, que se induce de los niveles de dificultad

También, respecto de la tabla 2.6, Knierim et al. (2017) indican que los parámetros cardiológicos son los más utilizados en los estudios, en general y, particularmente, en los

estudios de alta diagnosticidad. Asimismo, para distinguir el flow del estrés, donde el arousal es elevado, apreciaron que se siguen cuatro estrategias en los estudios:

A) Modulación del arousal por influencia de la relajación.
B) Encontrar niveles moderados de arousal, en lugar de elevados.
C) Estabilidad del arousal, frente a su volatilidad.
D) Presencia concurrente de arousal y afecto positivo (valencia, en el modelo de Lang).

Con respecto a dichas estrategias, modular el arousal (activación) por influencia de la relajación (A), ofrece también los mayores niveles de diagnosticidad (Knierim et al. (2017), seguida por la B, C y D, en ese mismo orden.

Finalmente, en la tabla 2.6 apreciamos una notable ausencia de contextos educativos y de trabajos donde las personas estén en grupos, así como en contextos reales. Asimismo, la participación de adultos -y, por consiguiente, la ausencia de niños- es una constante.

CAPÍTULO 3. MODELOS DE LA TEORÍA FLOW.

Gracias a los métodos basados en cuestionario, descritos en el capítulo 2, ha sido posible desarrollar diferentes modelos que permiten comprender mejor y realizar predicciones sobre aspectos fundamentales de la *Teoría Flow*. En este capítulo se van a describir, de una manera crítica, los modelos encontrados en base al análisis de contenidos de los textos escrutados, intentando seguir un orden cronológico general. Este enfoque debe permitir tener una idea clara sobre los mismos, pero no ha de perderse de vista la estrecha relación que existe entre los métodos de estudio del *flow* y los modelos que se proponen de acuerdo a la información que aportan, ya que imponen limitaciones de inicio.

3.1. Modelos Bidimensionales.

Como se verá en este apartado, los modelos cartesianos, bidimensionales o de cuadrantes, han tenido y tienen una gran importancia en el desarrollo y práctica de la teoría de Csikszentmihaly. Dichos modelos resultan fenomenológicamente muy valiosos. En los siguientes apartados se van a describir estos modelos, señalando las limitaciones que presentan tras el análisis de contenido crítico de los trabajos seleccionados.

3.1.1. Modelo del canal o de los tres cuadrantes.

El modelo del canal es un gráfico cartesiano que se describe por primera vez en Csikszentmihaly (1975, p.49), el cual ha sufrido modificaciones a lo largo del tiempo. Dicho modelo presenta, en abscisas, las capacidades de acción (*skills*) y, en ordenadas, las oportunidades de acción (*challenges*), como elementos invariantes, junto con una franja con una inclinación de 45 grados que representa el denominado canal de flow. Además, en la variante de Csikszentmihaly (1975, p.49) que se presenta en la Figura 2.4, aparecen otras cuatro zonas marcadas en el gráfico, que corresponden (de arriba a la izquierda abajo a la derecha) a los estados emocionales de ansiedad, preocupación, aburrimiento y, nuevamente, ansiedad. Sin embargo, según Moneta (2012, p.27), en la segunda edición de Csikszentmihaly (1975), se substituye Aburrimiento/Relajación por Aburrimiento/Ansiedad. Finalmente, en Csikszentmihaly & Csikszentmihaly (1992, p.259) solo aparecen la tríada ansiedad-flow-aburrimiento, como estados emocionales que predicen las variables *skills* y *challenges*.

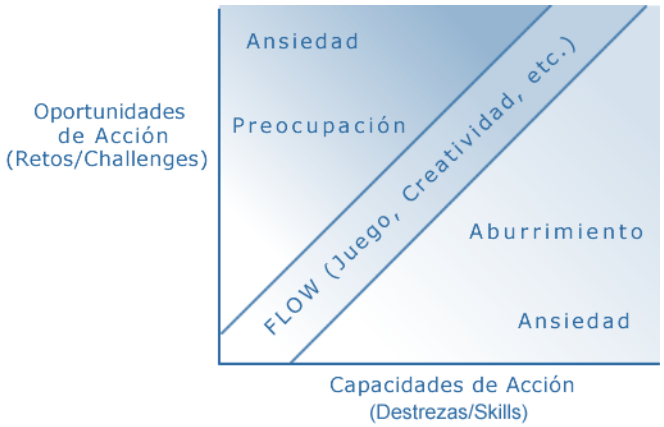


Figura 2.4. Modelo del canal de flow. Traducido de Csikszentmihaly (1975, p.49).

El esquema de la Figura 2.4 es sencillo de utilizar, de manera que, conociendo el grado de dificultad y capacidad subjetiva que manifieste una persona al realizar una tarea, se puede predecir el estado emocional de la misma, en función de la zona del gráfico en la que se sitúe el punto experimental. Además, se introduce en el modelo la idea de balance o equilibrio entre *skills/challenge*, como predictor del estado de *flow* (Csikszentmihaly, 1975). En este sentido, cuando existe equilibrio entre *skills/challenge*, el sujeto estaría en estado de *Flow*; si los retos exceden a sus capacidades, sentirá ansiedad; mientras que, si los retos le resultan demasiado sencillos para sus destrezas, se terminará aburriendo (Csikszentmihaly, 1975; Csikszentmihaly & Csikszentmihaly, 1992).

Por otro lado, considerando el modelo del canal, Csikszentmihaiyi & Massimini (1985) y Csikszentmihalyi & Rathunde (1993), entre otros, proponen modos de devolver a una persona al estado de *flow*, cuando previsiblemente pueda sentir ansiedad o aburrimiento. En el primer caso, bien puede complicarse la dificultad de la tarea o poner impedimentos a la persona. En el segundo, requerirá más capacitación (formación) o simplificar la dificultad de la tarea.

Igualmente, es necesario señalar que el esquema del canal se concibe como "un modelo diacrónico compuesto ilustrativo de cómo el *flow* se sucede en el tiempo" (Csikszentmihalyi, 1992, p.261). Es por ello que, al unir secuencialmente puntos experimentales que representen una serie temporal de medidas en el gráfico (ver Figura 2.5), se llega al concepto de "*experience map*" o "*flow-paths*", utilizados por Pearce & Howard (2004) y Pearce, Ainley y Howard (2005). La meta de estos autores era obtener una mayor granularidad en el monitoreo de una acción formativa, preguntando frecuentemente a su alumnado cuál era su percepción de *skills* y *challenge* en las actividades online que les iban proponiendo. En cambio, emplearon un test de prevalencia de *flow* más completo al finalizar el programa formativo para ver si existía algún tipo de asociación entre los patrones descritos por los *flow-paths* y el rendimiento educativo.

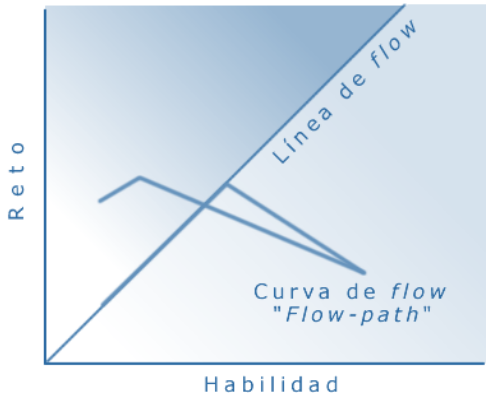


Figura 2.5. Representación de un "Flow-path" o curva de flow. Traducido de Pearce & Howard (2004).

No obstante, a pesar de la elegancia del modelo del canal, no está exento de problemas. En este sentido, coincidimos con Csikszentmihaly en que, con los cuestionarios contestados por los participantes en Csikszentmihaly (1992, p.255-258) o en Csikszentmihaly (1992, p.260), no hemos encontrado que las predicciones teóricas sobre estados emocionales del modelo y el manifestado por los usuarios coincidan. Si bien los cuestionarios difieren ligeramente, se resumen dos de ejemplo en la tabla 2.7 con sus preguntas coincidentes y las respuestas dadas. Junto a cada ítem, entre paréntesis, se especifican los puntos en una escala Likert en base a los que se bareman las respuestas. Así, se puede apreciar que, en ninguno de los dos casos, la predicción del estado del participante que ofrece el modelo del canal en función del nivel de reto y habilidad percibida coincide con el que podría deducirse, si se consideran las preguntas precedentes.

Tabla 2.7. Resumen de preguntas y respuestas recogidas en los dos ESF que se muestran como ejemplo en Csikszentmihaly (1992, p.255-258). Elaboración propia a partir de Csikszentmihaly (1992)

ITEM	CASO 1	CASO 2
¿Cómo de bien te estás concentrando? (0-9)	9	5
¿Ha sido difícil concentrarte? (0-9)	1	7
¿Cuál era tu nivel de autoconsciencia? (0-9)	0	5
¿Estabas en control de tus acciones? (0-9)	0	3
Alerta/somnoliento (0-6)	2	4
Activo/pasivo (0-6)	1	3
Emocionado/aburrido (0-6)	1	4
¿Te gustaría estar haciendo otra cosa? (0-9)	0	9
¿Dificultad de la actividad? (Challenges) (0-9)	6	7
¿Tu habilidad en la actividad? (Skills) (0-9)	8	5
Estado que manifiesta el participante (según ESF)	Flow	Aburrido
Estado que predice el modelo del Canal	Aburrida	Ansiedad

Si bien es cierto que se necesitan muchos más ejemplos para conocer la bondad de ajuste del modelo, los resultados que se obtienen para los dos ESF mostrados son desconcertantes. En cualquier caso, Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi (1992), en base al modelo del canal,

solo obtuvo correlación significativa en el estado de *flow* cuando la respuesta a la pregunta "¿Te gustaría estar haciendo otra cosa?" era rotundamente afirmativa.

Sin embargo, no debemos achacar este contratiempo a problemas de desarrollo psicométrico de los cuestionarios FQ o ESF con los que se desarrolló el modelo del canal, ya discutidos en profundidad, puesto que Shin (2006), utilizando el cuestionario VFM, con buenas propiedades psicométricas para determinar la prevalencia del *flow,* si bien demostró que la correlación es estadísticamente significativa, resulta baja ($r = 0.206$, $p. < 0.01$). Por consiguiente, nos preguntamos hasta qué punto es fiable este modelo para hacer predicciones sobre estados emocionales. Es por ello que han surgido otros modelos, como veremos a continuación.

Además, acabamos de invocar el concepto de equilibrio, que es una idea central de la *Teoría Flow* (Csikszentmihalyi, 1975, entre otros). En este sentido, para la Figura 2.5, Pierce & Howard (2004) definen matemáticamente el equilibrio o balance entre *skills* y *challenges*, mediante la expresión [1]:

Reto / Habilidad = 1 (para la línea de *flow*) [1]

En definitiva, otros modelos más complejos, como el de los 8 canales que se verá en el apartado 3.1.3, cuentan con mayor soporte estadístico por medio de Análisis de Componentes Principales (Novak & Hoffmann, 1997), lo cual puede significar que el modelo de segmentación adecuado para representar la *Teoría Flow* es más complejo o que requiere otras técnicas para confrontarlo. Además, Massimini & Carli (1986) sostienen que, para que tengan lugar experiencias óptimas, tanto el nivel de destreza como los retos han de estar en equilibrio y por encima de un determinado nivel, lo cual discutiremos en el apartado 8.1.2.

3.1.2. Modelo de los cuatro cuadrantes.

Según Csikszentmihaly (1992), el modelo de los cuatro cuadrantes se desarrolló en parte usando los propios datos obtenidos mediante la técnica ESM con los que Csikszentmihaly (1975) desarrolló el modelo del canal. Dicho modelo surgió en respuesta al problema de la baja capacidad predictiva con respecto a los estados emocionales del modelo del canal, asumida por Csikszentmihaly (1992, p.260). Es así como Massimini & Carli (1986) proponen una mejora al realizar un pretratamiento de los datos, normalizando los parámetros *skills* y *challenge* como valores Z. Para ello, es necesario considerar una serie temporal de cuestionarios, que permita restar a cada respuesta individual la media aritmética de la serie y dividirla entre su desviación estándar.

El modelo de los cuatro cuadrantes, mostrado en la Figura 2.6, se describe también en Massimini & Carli (1988) y en Csikszentmihalyi & Lefevre (1989). En el mismo, aparecen dos ejes ortogonales que representan los parámetros *skills* y *challenge* como valores Z y cuatro cuadrantes que expresan los estados emocionales predichos por el modelo: ansiedad, *flow*, aburrimiento y apatía. En este sentido, los valores Z se calculan con respecto a la media semanal de las respuestas dadas por los participantes en varios ESF en un diseño de investigación de tipo ESM. Además, Csikszentmihalyi & Nakamura (1986) y Massimini et al. (1987) delimitan así los 4 cuadrantes:

- Cuadrante del flow: tanto *skills* como *challenges* son mayores que la media.

- Cuadrante de la ansiedad: los retos son superiores a su media y las competencias, inferiores a su media.
- Cuadrante del aburrimiento: los retos se encuentran por debajo de su media y las destrezas por encima de ella.
- Cuadrante de la apatía: tanto los retos como las habilidades están por debajo de sus medias.

Es por ello que el *flow* tiene lugar solo cuando los valores *skill* y *challenge* se sitúan por encima de la media semanal y están en equilibrio (Massimini & Carli, 1986). En cambio, si los valores están en equilibrio, pero son bajos con respecto a la media semanal, se produce apatía (Massimini & Carli, 1988). Asimismo, encontramos como estados emocionales negativos la ansiedad y el aburrimiento, al igual que en el modelo del canal descrito en Csikszentmihaly (1992).

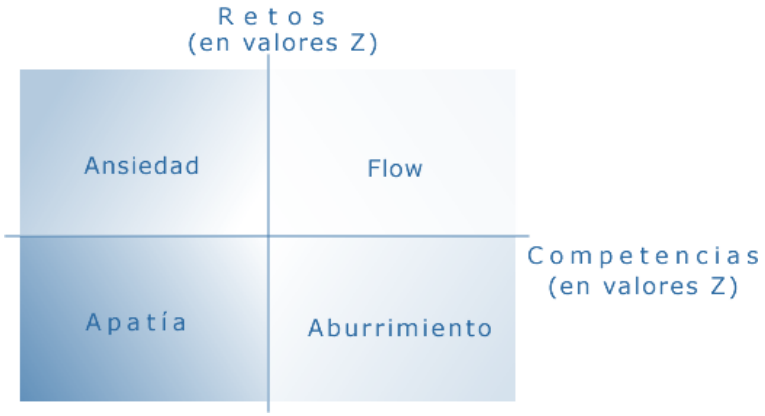


Figura 2.6. Modelo de los 4 cuadrantes de Csikszentmihalyi (1992, p.261) que adaptó de Massimini & Carli (1986). Adaptado de los autores.

No obstante, si bien este modelo supera al del canal, no parece estar exento de algunos problemas. El primero surge si los puntos experimentales caen justamente sobre sus ejes, ya que no sabríamos a qué estado psicológico pertenecerían. Otro menos evidente ha sido citado por Ellis et al. (1994), quienes encuentran que experiencias marcadas por los participantes como de bajo reto para sus capacidades se perciben como positivas, cuando deberían ser aburridas, de acuerdo con este modelo. Además, Moneta (2012) sugiere una tendencia del modelo a dar falsos positivos en el cuadrante de *flow*. Además, en casos extremos, si los puntos experimentales en el modelo del canal forman líneas verticales u horizontales, la desviación estándar es cero y no se pueden normalizar los valores (error de tipo división por cero).

Finalmente, debemos matizar que Moneta & Csikszentmihalyi (1996, p.275) demuestran que "el balance entre *challenges* y *skills* tienen un efecto positivo e independiente en la calidad de una experiencia", pero eso sí, empleando concentración, deseo de realizar la actividad, implicación y felicidad, como variables dependientes.

3.1.3. Modelo de ocho sectores (EFM).

El modelo con 8 cuadrantes, también conocido como Modelo de Fluctuación de la Experiencia (EFM), aparece en diversas publicaciones, como Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987), Massimi & Carli (1988, 1992), Csikszentmihalyi (1990, 1997) o Bassi & Delle Fave (2016), entre otros. Dicho modelo identifica 8 perfiles de experiencia en base a la percepción de oportunidades de acción ambientales (retos o *challenges*) y las capacidades personales para afrontarlos (competencias o *skills*), tal y como los define Bassi & Delle Fave (2016). Sin embargo, se diferencia del modelo del canal en que se definen en su interior los estados psicológicos en función de valores normalizados en Z de las variables reto y destrezas. En este sentido, encontramos, en el orden de las agujas del reloj, los cuadrantes o canales Arousal, *Flow*, Control, Aburrimiento, Relajación, Apatía, Preocupación y Ansiedad (Figura 2.7).

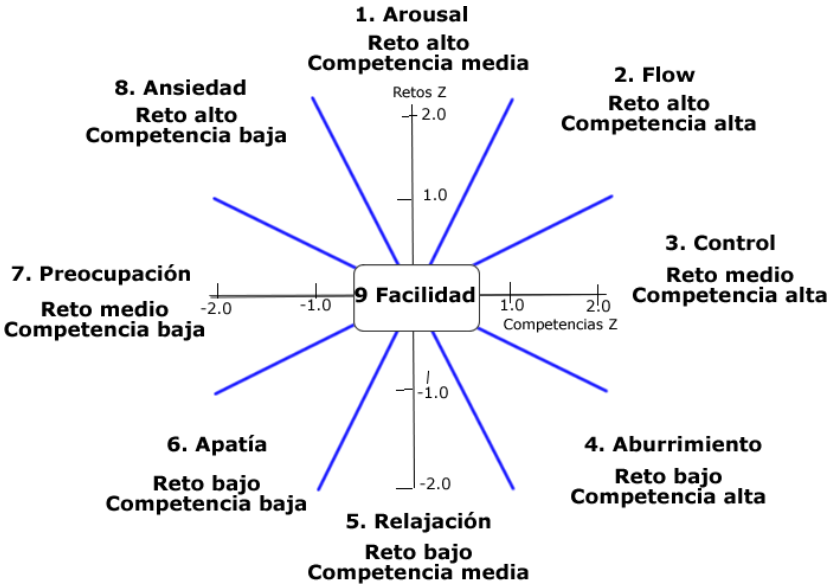


Figura 2.7. Modelo de 8 canales. Basado en Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987), Csikszentmihalyi (1990) y Clarke y Haworth (1994).

A fin de clarificar cómo se definieron los cuadrantes de la Figura 2.7, en la tabla 2.8 mostramos los canales y sus definiciones, según Csikszentmihalyi (1990).

Tabla 2.8. Canales del modelo EFM tal y como los define Csikszentmihalyi (1990). Traducido de Csikszentmihalyi (1990).

Canal 1 (arousal): las competencias son mayores que los retos, siendo estos elevados respecto a la media.
Canal 2 (flow): las competencias son parejas a los retos, cuando estos son altos respecto a la media.
Canal 3 (control): las competencias son mayores que los retos, siendo estos moderados respecto a la media.
Canal 4 (aburrimiento): las competencias son mayores que los retos, cuando a la vez son bajos respecto a la media.
Canal 5 (relajación): competencias en equilibrio con retos, estando ellos por debajo la media.

Canal 6 (apatía): competencias menores que los retos, siendo estos últimos bajos respecto a la media.
Canal 7 (preocupación): competencias menores que los retos, cuando estos son moderados respecto a la media.
Canal 8 (ansiedad): competencias menores que los retos, que se muestran a su vez elevados frente a la media.
Chanal 9 (facilidad): competencias emparejadas con retos moderados frente a la media (Clarke y Hawoth, 1994, p.512).

Otro aspecto destacado del modelo, según Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987, p. 547) es que la existencia de equilibrio entre Skills/Challenge tiene un efecto positivo en la experiencia de las personas. En este sentido, cuando las personas manifiestan estar en equilibrio y por encima de los valores medios semanales de *skills/balance*, se sienten significativamente más fuertes, felices, satisfechas, motivadas y cognitivamente activas que en otra condición.

Por otra parte, Csikszentmihalyi & Larson (1987, p.631) sostienen que usaron la técnica ESM y formularios de tipo ESF para contrastar el modelo, los cuales no incorporan distintas preguntas que aludan al mismo constructo. Ello permite, según estos autores, que los cuestionarios ESF sean breves sin mermar sus propiedades psicométricas, ya que los participantes los responden repetidamente en series. De todas las maneras, dichas propiedades no aparecen completas en los trabajos analizados. Además, encontramos propuestas para la disminución de la dimensionalidad del constructo. Así, Massimini & Carli (1987) y Csikszentmihalyi & Larson (1984, p.293) agrupan los ítems de los cuestionarios en los siguientes componentes: motivación, activación, afecto y eficiencia cognitiva. De este modo, al situar sobre las abscisas de un gráfico los valores Z medios de cada una de esas 4 dimensiones, con respecto a las variables reto y competencia, y ordenarlas según los cuadrantes del modelo al que se asignaron, obtuvieron una distribución en forma de onda sinusoidal, mostrada en la figura 2.8 de Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987, p. 547). Esta es congruente con la obtenida por Delle Fave et al. (2011, p. 74), salvo en que contiene más dimensiones del *flow*.

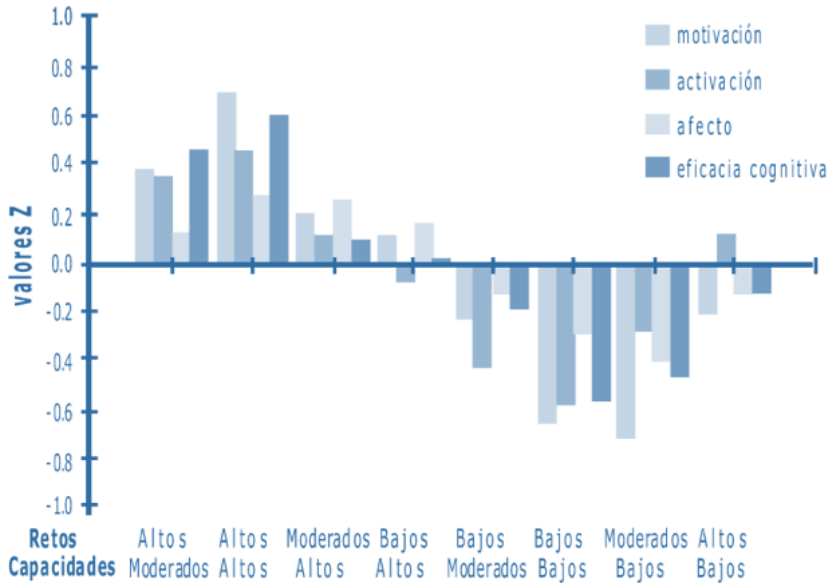


Figura 2.8. Distribución en un modelo de 8 cuadrantes de los valores Z medios de las dimensiones motivación, activación, afecto y eficacia cognitiva según las variables reto y capacidad. Elaboración basada en Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987, p. 547).

Además, dicho gráfico es de gran interés, ya que parece demostrar que cada canal tiene unas características propias, donde la calidad de la experiencia es diferente, siendo óptima en el canal de *flow* y muy negativa en el de apatía (Massimini, Csikszentmihalyi & Carli, 1987). En este sentido, según Moneta & Csikszentmihalyi (1996), estos hallazgos confirman la hipótesis de que el equilibrio entre las variables competencia y reto tiene efectos positivos en la calidad de una experiencia. En cambio, para Ellis, Voekl y Morris (1994), la razón *skills-challenge* solo justifica una pequeña parte de la varianza de las medidas y deberían especificarse para diferentes tipos de retos, ya sean físicos, cognitivos o emocionales.

Posteriormente, Novak & Hoffman (1996) aplicando la técnica de Análisis de Componentes Principales a los datos de cuestionarios que usaban varios ítems para determinar las variables *skills* y *challenge*, encuentran que elegir un modelo de 4 u 8 canales es arbitrario, puesto que ambos son explicados por esos dos factores, con el 89% de la varianza. Además, la geometría resultante de los vectores es coincidente con el modelo de 8 canales. Sin embargo, Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987, p.546) manifiestan que se establecieron los sectores arbitrariamente. En este sentido, es posible que ello pueda sesgar el modelo que se quiere validar de inicio. Más recientemente, Delle Fave & Massimini (2005) presentaron un modelo de 8 canales utilizando la técnica ESM por medio de un estudio transcultural, con participantes de distintas edades, condición física y ocupación. Como conclusiones obtuvieron que existe un núcleo de variables cognitivas que se mantienen estables en las diversas actividades desarrolladas (concentración y control), mientras que las afectivas, volitivas y motivacionales, varían con la actividad.

Por otro lado, según los resultados de Novak & Hoffman (1996), usar medidas estandarizadas mejoró la capacidad predictiva del modelo de 8 canales con respecto al modelo del canal. Sin embargo, al incorporar medidas estandarizadas, se produce una pérdida de información que dificulta identificar cuándo se produce el equilibrio *Skills/Challenge* y qué ensombrece la ya conocida importancia de las diferencias debidas a factores de personalidad (Ellis et al., 1994). Por consiguiente, este efecto es común a todos los modelos que emplean normalización de variables.

Más adelante, Novak, Hoffman y Yung (1999) analizaron los datos sobre navegación web recogidos en un cuestionario propio más extenso y bien validado, que se denominó NHY en esta tesis. Este desagrega las dimensiones *skills* y *challenges* en 6 ítems cada una y, al aplicar la técnica de Análisis de Componentes Principales a los datos de investigación, descubren que estas dos dimensiones van asociadas a otras dos, que son control y arousal, respectivamente, quedando de esta manera: skills-control y challenges-arousal. En este sentido, en dicho trabajo se decantan ya por modelos estructurales y se abandonan los cartesianos.

3.1.4. Problemas comunes encontrados en los modelos de cuadrantes.

En este apartado se van a poner de manifiesto los problemas comunes encontrados en los modelos de cuadrantes, derivados del análisis de textos mediante Teoría Fundamentada. Asimismo, hemos de comentar que Ellis et al. (1994) aseguran que existe un modelo de 16 cuadrantes, pero no indicaron ningún trabajo que permita estudiarlo. Dichas dificultades son las siguientes:

a. Número de cuadrantes del modelo.

Hemos visto que tanto un modelo de 4 cuadrantes como uno de 8 se consideran plausibles. Por consiguiente:

- ¿Cómo sabemos que no hay otros modelos con diferente número de cuadrantes que podría funcionar?
- ¿Dónde está el límite de estados emocionales que pueden o deben incorporarse y cómo se definen o nombran?
- ¿Por qué los canales son múltiplos de 4?
- ¿Por qué no hay modelos con canales impares?
- ¿Por qué no hay modelos con canales de formas irregulares?

b. *Macroflow, microflow y mesoflow*.

A los niveles bajos, medios y altos de prevalencia de *flow* se denominan microflow, mesoflow y macroflow, respectivamente (Csikszentmihalyi, 1975; Moneta, 2012). En este sentido:

- ¿Cómo se distinguen estados de *microflow* del de relajación?
- ¿No sería posible que los estados de relajación, control y *flow* representen grados de intensidad del *flow* que van desde *microflow*, *mesoflow* a *macroflow*?

c. Asignación de puntos experimentales a cada cuadrante.

- ¿Cómo se seleccionan los puntos experimentales *skills/challenge* que pertenecen a cada estado psicológico, si estos se distribuyen en una cuadrícula regular (doble escala Likert de 10 puntos), dividimos el área del gráfico en 8 sectores circulares y estandarizamos los valores (c.f. Ellis et al., 1994)?

d. ***¿Es la condición de equilibrio causa del flow?***

Moneta & Csikszentmihalyi (1996, p.281) argumentan que Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987) encontraron correlaciones entre experiencias positivas solo con *skills*, solo con *challenges* y no con la ratio entre ambas variables independientemente (ver figura 8). Por consiguiente, no está claro cuándo prueban que es la relación entre estas variables la causante o precondición del *flow*.

e. ***Uso completo de los conjuntos de datos.***

En los estudios analizados se usan los conjuntos de datos completos para ajustar los modelos (ver Moneta & Csikszentmihalyi (1996, p.288). En este sentido, no se reservan parte de los datos para comprobar los ajustes de los modelos desarrollados, de modo que desconocemos la fiabilidad de los mismos.

f. ***Indefinición de los estados psicológicos señalados en los cuadrantes y desconocimiento de las propiedades psicométricas de los test de partida.***

Coincidimos con Ellis et al. (1994) en que algunos ítems del ESF apenas contienen varianza explicada en las variables *skills* y *challenge* (p.e. "feliz-triste"), además que de los sectores en los que se dividen los gráficos cartesianos en cuadrantes no aparecen en las definiciones de las experiencias de *flow*, ni se han contrastado con test psicométricos específicos. Además, estos mismos autores ponen de manifiesto que falta conocer las propiedades psicométricas de los cuestionarios ESF y que las variables *skills* y *challenge* son extremadamente complejas para registrarlas con un solo ítem para cada una.

g. Importancia del tipo de reto en los resultados experimentales.

Ellis et al. (1994) consideran que no es lo mismo afrontar retos físicos, emocionales o cognitivos en las experiencias de *flow*. En este sentido, indican que el grado de atención que se presta a la actividad debería monitorizarse y que se desconoce cómo se ajustarían los modelos a retos diferentes.

3.2.1. Modelos de regresión.

Los modelos de regresión se describen en Moneta & Csikszentmihalyi (1996). Se presenta uno en forma de ecuación [2], donde y es un ítem del cuestionario ESF, las componentes β_n son coeficientes lineales, Chall es la dificultad percibida, Skill es la competencia subjetiva y DIFF, una parametrización que se calcula como la diferencia entre *Challenge* y *Skill* en valor absoluto $|Chall - Skill|$.

$$y = \beta_0 + \beta_1 CHALL + \beta_2 SKILL + \beta_3 DIFF \text{ [2]}$$

Es muy importante indicar que estos modelos emplean la técnica de Modelado Jerárquico Lineal de dos niveles (Bryk & Raudenbush, 1992), en lugar de regresión lineal por mínimos cuadrados ordinaria. Esto se debe a que puede haber distinto número de observaciones, distribuidas de manera irregular en el tiempo, ya que los datos pertenecen a series temporales por obtenerse mediante la técnica ESM. En consecuencia, existe correlación inter-sujeto. Por ello, los coeficientes no estarían sesgados, pero sí sus errores standard, que serían demasiado pequeños, lo que llevaría a rechazar la hipótesis nula en los test de significancia (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996, p.288).

Asimismo, Moneta (2012, p.39) demuestra que los efectos de las variables SKILL (competencias), CHALL (retos) y DIFF (equilibrio) están relacionados con rasgos de la personalidad, como la motivación intrínseca y variables situacionales, tales como sus metas, intereses, importancia dada a la actividad y cultura.

3.2.2. Modelos componenciales no temporales.

Los modelos componenciales surgen para superar la problemática descrita en el apartado 3.1.4 respecto de los modelos de cuadrantes (Engeser & Rheinberg, 2008; Moneta, 2012). Dichos modelos componenciales proponen constructos del flow estructurados en componentes (Webster, Trevino & Ryan ,1993; Jackson & Marsh,1996; entre otros). Bajo este subapartado se agrupan modelos multidimensionales que no tienen un matiz marcadamente temporal.

El primer ejemplo surge al aplicar la técnica de Análisis Factorial Confirmatorio a la información recogida en diversos contextos por medio de los cuestionarios FSS-2 y DFS-2, gracias a Jackson & Eklund (2002, 2004a), Moneta (2012) y Moral-Bofill et al. (2020).

Se recoge en la Figura 2.9, adaptada de Moral-Bofil et al. (2020), con sus vectores y pesos factoriales. En este ejemplo se reconocen 6 factores de segundo orden (acción fluida, concentración, control, consciencia, pérdida de la noción temporal y autotelismo) y uno de primero, que sería el estado de *flow.* Cabe destacar también que no aparecen las variables destrezas y reto en su formulación.

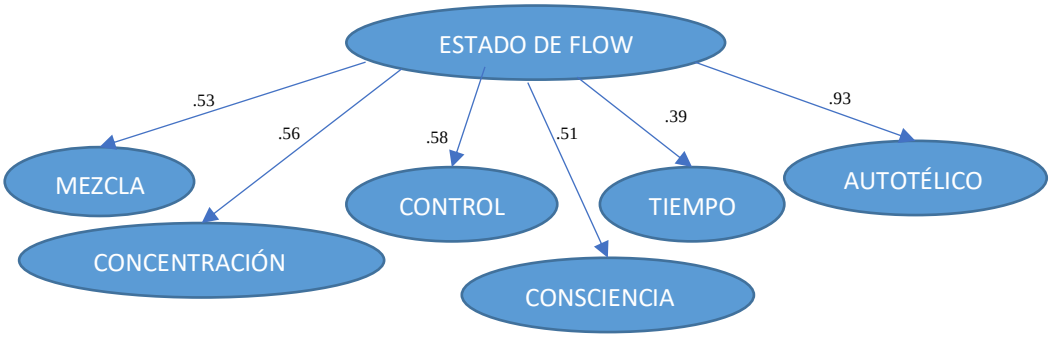


Figura 2.9. Modelo de Moral-Bofill et al. (2020) sobre flow en el deporte, la música y la educación. Elaboración propia a partir de los mismos autores.

En cambio, el modelo de Agarwal & Karahanna (2000) es más complejo, como consecuencia de haber empleado un instrumento para la recogida de datos mucho más extenso que en el caso anterior, donde el contexto de estudio son los entornos web (ver Fig. 2.10). En el mismo, se observa un reagrupamiento de los componentes, con un papel central del absortamiento cognitivo, seguido de la facilidad percibida de uso, la utilidad percibida y la intención de uso, siendo los tres primeros predictores del último y el primero de los dos segundos. Además, resulta llamativa la reorganización de los factores que gravitan sobre el absortamiento cognitivo, que se relacionaba a priori con las subfacetas que contenía en el cuestionario (disociación temporal, inmersión focalizada, disfrute aumentado, control y curiosidad), así como otras dos que en el formulario eran independientes, en este caso, jugabilidad y tendencia personal a la innovación. Finalmente, la autoeficacia, que era un

factor independiente con varios ítems en el cuestionario, influye de manera ambivalente y diferencial en el absortamiento cognitivo y la facilidad percibida de uso.

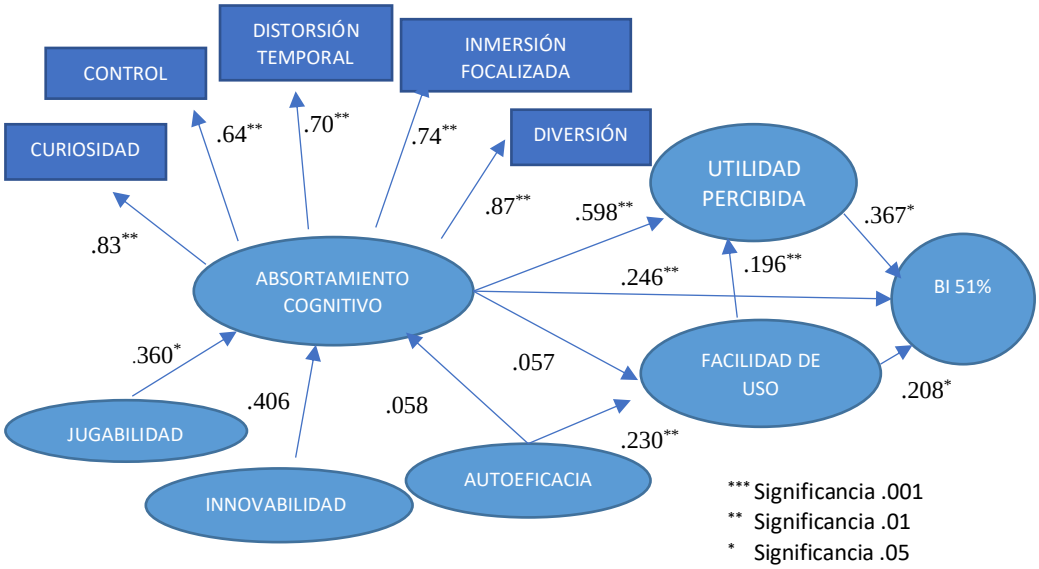


Figura 2.10. Modelo de Agarwal & Karahanna (2000) sobre flow en el uso de entornos web. Elaboración propia a partir de los mismos autores.

Posteriormente, el modelo EduFlow (Heutte et al., 2014a, 2014b), toma de Agarwal & Karahanna (2000) la importancia del absortamiento cognitivo, ampliándolo a entornos virtuales y presenciales de aprendizaje (ver Figura 2.11). Presenta una ventaja importante con respecto al modelo anterior por usar una escala con tan solo con 12 ítems que se agrupan de tres en tres en 4 dimensiones. Estas dimensiones son:

- FlowD1: Absorción cognitiva.
- FlowD2: Transformación temporal.
- FlowD3: Pérdida de autoconciencia.
- FlowD4: Experiencia autotélica/bienestar.

Además, en la figura 2.11, se muestran las ecuaciones estructurales obtenidas en entornos virtuales de aprendizaje (MOOCS, a la derecha) y presenciales (izquierda). Dichas ecuaciones presentan la misma estructura en contextos presenciales y virtuales de aprendizaje, por lo que Heutte (2014a) considera que el constructo presenta validez ecológica, donde el absortamiento (D1) determina de modo directo la dimensión intrínseca y placentera del aprendizaje (D4), la transformación temporal (D2) y la pérdida de autoconciencia (D3). Además, estas dos últimas dimensiones son mediadoras del disfrute de la experiencia (D4) y mediadas a su vez por el absortamiento (D1). Además, se aprecian variaciones en los pesos de las relaciones estructurales de las figuras de la izquierda y la derecha de la imagen, que muestran las diferencias de contexto. En este sentido, las diferencias más claras se dan en la mayor importancia que el absortamiento tiene sobre el bienestar y la pérdida de autoconsciencia en los MOOCS, así como en la menor influencia que demuestra la transformación temporal sobre la dimensión autotélica en contextos presenciales frente a los virtuales.

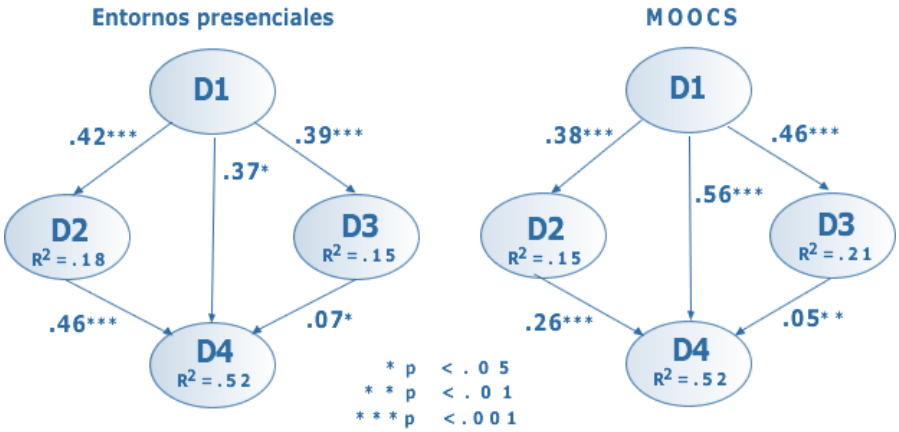


Figura 2.11. Ecuaciones estructurales del modelo EduFlow, en entornos presenciales de aprendizaje (izquierda) y MOOCS (derecha), según Heutte et al. (2014a). Elaboración propia a partir de dichos autores.

3.2.3. Modelos componenciales en etapas o causales.

Existen modelos componenciales que, además, evidencian rasgos temporales, pues presentan el constructo de *flow* diferenciando los antecedentes de sus consecuencias y el momento propio en el que la experiencia misma está teniendo lugar. Como se verá, no existe acuerdo en los factores a considerar y a qué etapa asociarlos, lo cual parece justificarse no solo en que los contextos de estudio que dieron origen a que los modelos sean distintos, sino en que las fuentes de desarrollo de los cuestionarios difieren, como ya estudiamos.

Quizás por su sencillez relativa, comenzaremos a describir el modelo de Shin (2006, p. 708), quien propone un constructo para los estados óptimos en etapas, basándose en una investigación educativa mediada por tecnología en la que utilizó el cuestionario VFM. En dicho trabajo, se describe un constructo para el *flow* en fases o etapas, ilustrado en la Figura 2.12. En ella, se aprecia que existe una fase de antecedentes, le sigue otra de experiencia de *flow* en sentido estricto y, finalmente, sucede la fase de consecuencias del *flow*, respectivamente. Estas tres etapas son secuenciales, es decir, que cuando se dan unas condiciones previas (antecedentes), se propician experiencias óptimas y ello tiene unas consecuencias en las personas. Más pormenorizadamente, podemos observar que, entre los antecedentes, incluyen habilidades, retos y metas claras. En cambio, para la fase de *flow*, aparecen Disfrute, Telepresencia, Atención focalizada, Interacciones con los compañeros y Distorsión del sentido del tiempo. Finalmente, las consecuencias serían Satisfacción, Sensación subjetiva de aprendizaje y Cambio de actitud y comportamiento, que se hace operativo como deseo de volver a participar nuevamente en la actividad.

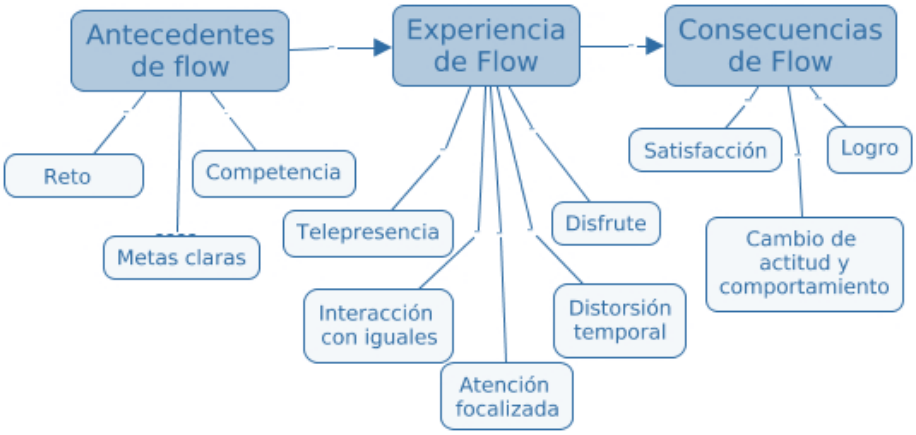


Figura 2.12. Modelo de flow multicomponencial en etapas.
Traducido de Shin (2006, p.708).

No obstante, abundan trabajos como los de Jackson & Eklund (2002, 2004a) o Csikszentmihalyi (1975, 1990) entre otros, que sugieren que deberían incluirse entre los antecedentes del *flow* el balance entre *skills/challenge* y la posibilidad de disponer de retroalimentación inmediata. Además, Mora-Bofill et al. (2020), empleando una versión española del FSS-2, recelan de la idoneidad de considerar la distorsión temporal en los cómputos de las escalas del *flow*.

Sin embargo, Skiepke (2005, p. 35) ilustra dos modelos igualmente plausibles basados en Análisis Factorial Confirmatorio, propuestos por Koufaris (2002) sobre el *flow* experimentado en webs de comercio electrónico (Figura 2.13). A la izquierda de la figura se muestra un constructo reflexivo y a la derecha otro de tipología compuesta. Ambos matizan la idea de antecedentes y consecuencias del estado de *flow*, puesto que difieren en el sentido en el que apuntan las flechas estructurales hacia o desde las facetas de la parte izquierda de cada gráfico. Así, los factores a la izquierda de la fase de *flow* son retos, concentración, curiosidad y control, mientras que, como consecuencias del estado óptimo, ambos modelos comparten la intención de compra y la de retornar a la web. En resumidas cuentas, el modelo reflexivo expresa en esencia lo mismo que el modelo de Mora-Bofill (2020), donde no hay etapas, mientras que el compuesto sostiene que hay antecedentes y consecuencias al estado de *flow*.

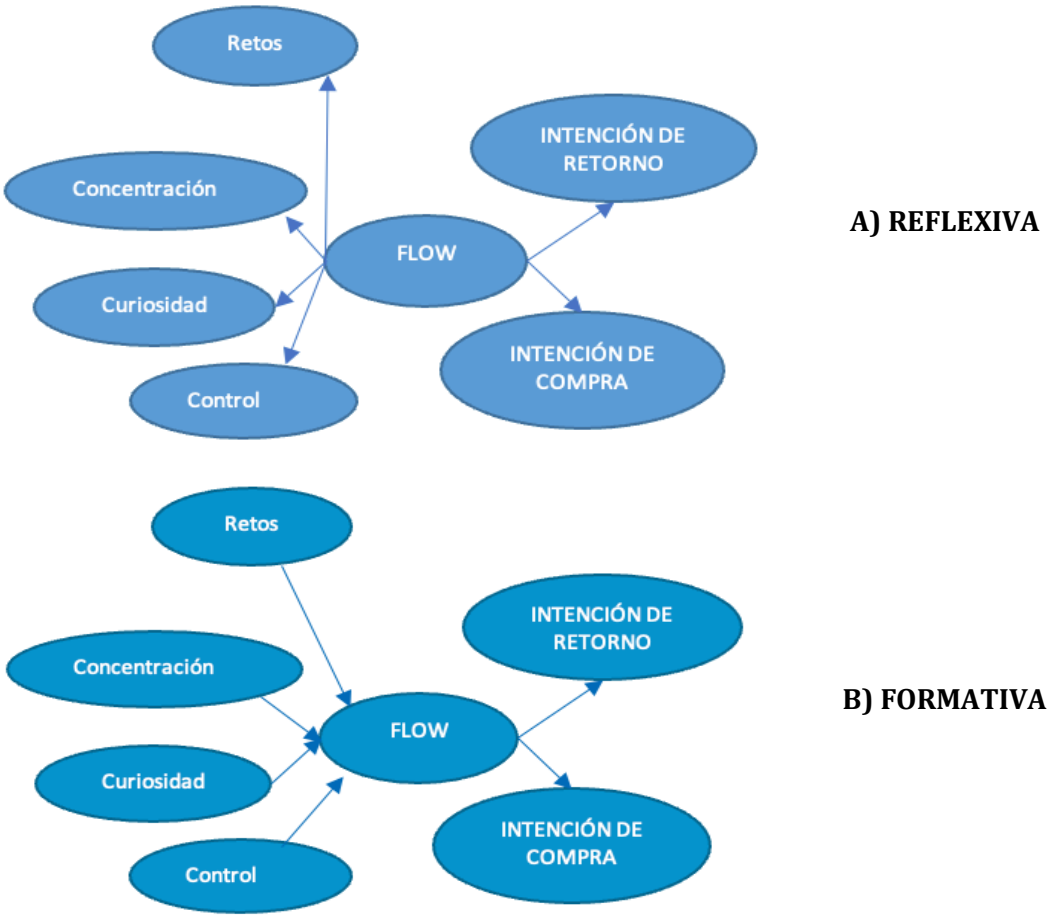


Figura 2.13. Alternativas reflexivas (A) y formativa (B) de un modelo multidimensional de flow en comercio electrónico. Traducido de Siepke (2005, p.35).

Además, en webs, Novak, Hoffman & Yung (1997), reconocen en la Figura 2.14:

- Un núcleo en la experiencia del *flow* (FLOW en el gráfico).
- Antecedentes lejanos del *flow*, como son competencias, retos y atención focalizada.
- Elementos con una ocurrencia próxima a la experiencia de *flow*, como jugabilidad, arousal, telepresencia y distorsión del sentido temporal.
- Consecuencias del *flow*, como son el afecto positivo, el comportamiento exploratorio y el control (nótese que en el gráfico aparece como antecedente próximo al *flow* también). Y precursores ambivalentes del *flow* y el comportamiento exploratorio, como el nivel óptimo de estimulación.
- Moduladores de competencia, como el uso diario de Internet y desde cuándo se hace.
- La interactividad como moduladora de la dificultad, la jugabilidad y la atención focalizada.
- La implicación o importancia que se le da a la actividad, correlacionando con la atención focalizada y el uso diario de la web.
- La atención focalizada como precedente de la telepresencia y la distorsión temporal.

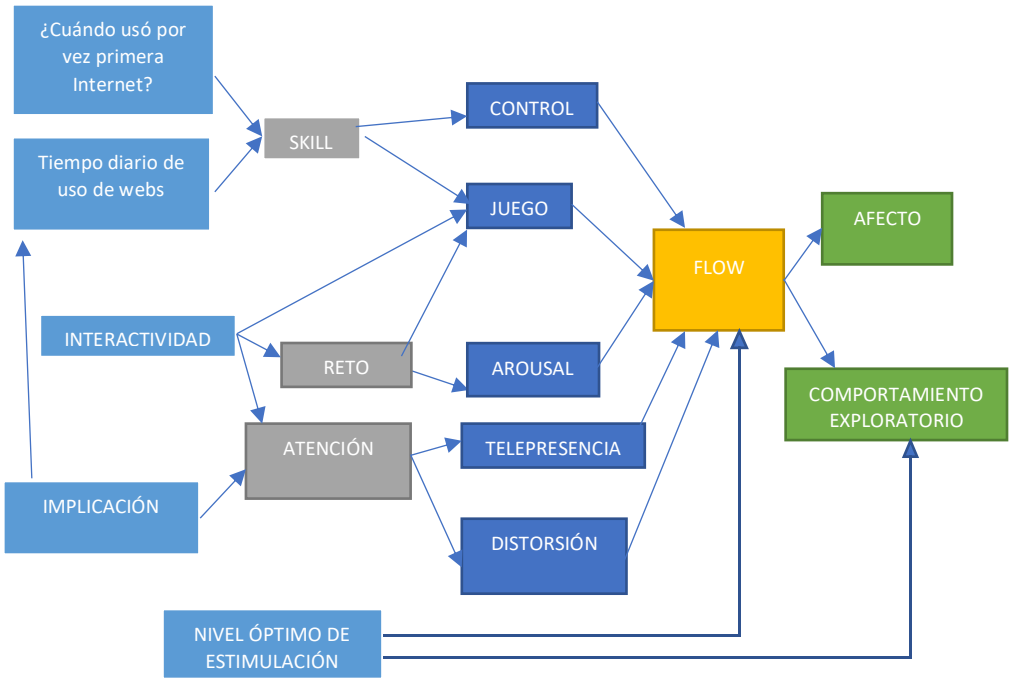


Figura 2.14. Modelo de flow en contextos de uso de software. Traducido de Novak, Hoffman y Yung (1997, p. 9).

Por otra parte, Hoffman & Novak (1995, p.16), queriendo comprender el *flow* en un contexto de navegación hipermedia, proponen el siguiente modelo, genéticamente relacionado con el de la Figura 2.14, en el que se enfatiza el sentido temporal del modelo al diseñarlo como diagrama de flujo (Figura 2.15).

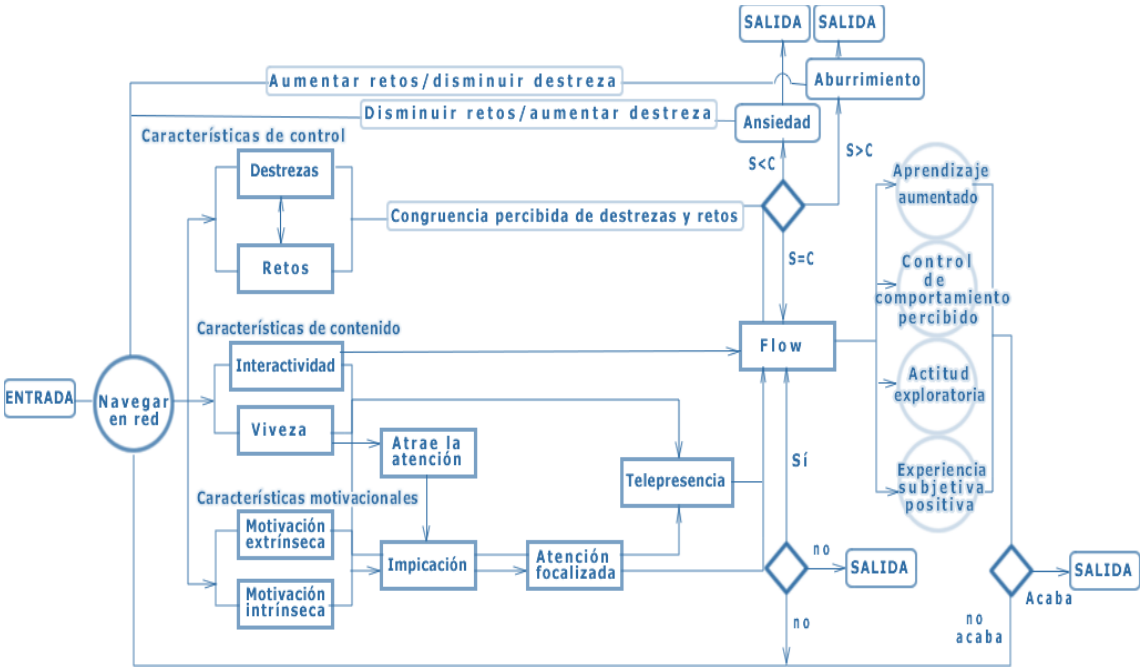


Figura 2.15. Modelo de flow en contextos mediados por computador (navegación hipermedia). Traducido de Novak, Hoffman y Yung (1997, p. 9).

Posteriormente, Finneran & Zhang (2003) desarrollaron el modelo PAT (Persona-Artefacto-Tarea) que ha tenido influencia en el diseño del formulario IMFGP. Se trata de un interesante modelo que, entre los antecedentes del *flow*, tiene en cuenta el estado y rasgos personales del sujeto que interactúa con un ordenador (artefacto) y la tarea a realizar. Asimismo, extrae consecuencias tras la experiencia óptima, como se aprecia en la Figura 2.16.

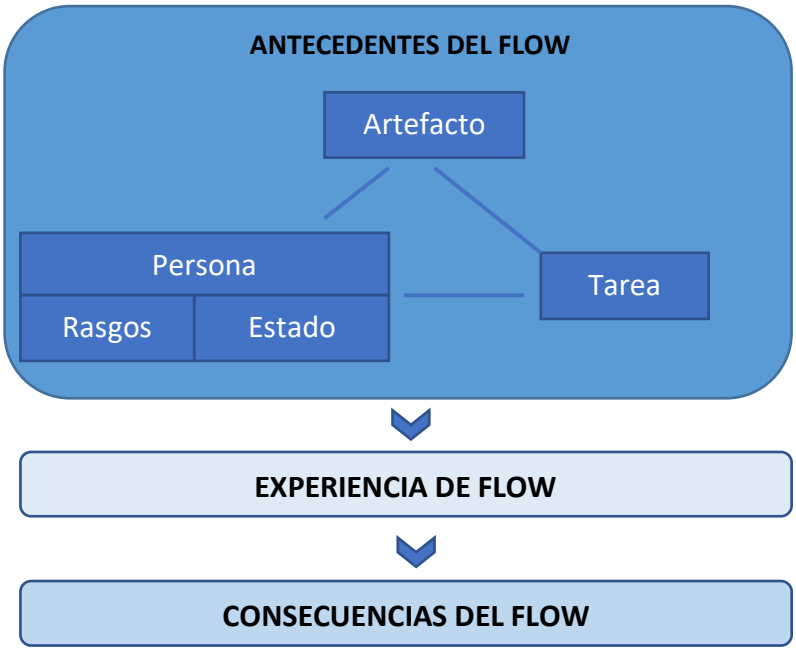


Figura 2.16. Modelo PAT. Traducido de Finneran & Zang (2003, p. 479). Elaboración propia a partir de los autores citados.

Además, este modelo también es coherente con los trabajos de Engeser & Rheinberg (2008), quienes advierten de que hay factores diferenciales asociados a las tareas, como su importancia percibida, que afectan a la calidad de las experiencias. En este sentido, demostraron que, en contextos educativos, cuando las tareas se perciben como no importantes y sin consecuencias, el *flow* se alcanza con más frecuencia cuando se da la condición de equilibrio subjetivo entre dificultad y reto. En cambio, en actividades en las que se esperan consecuencias importantes, el flow se alcanza solo cuando las competencias sobrepasan la dificultad de las actividades.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.

En este capítulo presentamos los principales postulados sobre los que descansa la *Teoría Flow*, poniendo de manifiesto sus fortalezas y limitaciones más prominentes. Por su importancia, a continuación, extraeremos conclusiones generales sobre los modelos teóricos sobre el flow. Finalizaremos este capítulo identificando áreas desconocidas y posibilidades de investigarlas.

4.1. Conclusiones generales sobre el estado del arte.

Posiblemente, los únicos axiomas que no ofrecen discrepancias para los estudiosos de la teoría de Csikszentmihalyi en los textos analizados es que *el flow es un constructo multidimensional* para el que debemos enfocar los análisis desde la *subjetividad de las experiencias vividas* (Engeser and Schiepe, 2012). En este sentido, Moneta & Csikszentmihalyi (1996) coinciden en señalar que la métrica "complejidad del estímulo" se basa en la percepción subjetiva de la persona y trazan una clara diferencia con Berlyne (1970) y Eckblad (1981), quienes aportan definiciones objetivas de la dificultad de la tarea y de la competencia del sujeto. Sin embargo, coincidimos con Moneta (2012) al afirmar que estas dos características pueden complicar su estudio objetivo y han generado continuas controversias con respecto a cuáles son esas dimensiones, su importancia relativa o su secuencia temporal.

Además, uno de los postulados que más se repiten en los trabajos analizados es que existe una *correlación positiva entre la calidad de las experiencias* y *los niveles subjetivos de competencia y reto* asociados a una tarea. Ello aparece como un elemento fundamental de la *Teoría Flow* desde los trabajos pioneros de Csikszentmihalyi (1975). No obstante, estamos de acuerdo con Moneta & Csikszentmihalyi (1996) al considerar que competencias (traducido de *skills* en inglés) y retos (del inglés, *challenges*) son conceptos agregados, es decir, que necesitarían ser repensados más bien como etiquetas de clases específicas, donde además se tengan en cuenta tipos particulares de competencias y retos.

Otro postulado fundamental, que requiere conocer el anterior, es el principio de balance o equilibrio entre *skills* y *challenges* (cf. LeFevre, 1988, p. 307 o Ellis, Voelkl & Morris, 1994, p. 337). Ello significa que, cuando se produce balance o equilibrio entre competencias y retos percibidos, mejora la calidad de las experiencias (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996). No obstante, coincidimos con Engeser & Rheinberg (2008) en que no debemos confiar ciegamente en dicho principio para predecir el *flow*, sino en usar escalas que lo determinen globalmente. Así, por ejemplo, Moneta & Csikszentmihalyi (1999) y Moneta (2012) sostienen que los efectos de las variables reto, competencia y equilibrio no aplican igual a todos los individuos medidas en alguna dimensión concreta de una experiencia (por ejemplo, concentración), debido a diferencias de personalidad y orientación al logro de los participantes en una experiencia. De nuevo, cabe señalar que Moneta & Csikszentmihalyi (1999) expresan el concepto de "equilibrio" de maneras distintas, lo cual da una medida de lo complicado que resulta definir matemáticamente dicho concepto. Así, en un mismo trabajo, vemos que lograron definir el equilibrio como la diferencia absoluta entre *Skills-Ballance*, su cociente, su producto cruzado o considerando los efectos cuadráticos de ambas variables. Además, Engeser & Rheinberg (2008) demuestran con el cuestionario FKS, que

la idea del equilibrio está mediada por otras características inherentes a la tarea, como puede ser su importancia relativa para la persona, o aspectos como la motivación de logro que tenga un sujeto. Es por ello que recomiendan diseñar actividades con menor dificultad respecto a las competencias de la persona cuando perciban que hay algo en juego (p.e., en un examen muy difícil, produce ansiedad) y diseñar actividades equilibradas, cuando no lo haya (imaginemos actividades eminentemente lúdicas, donde no hay repercusiones negativas). Finalmente, Løvoll & Vittersø (2014), señalan que el equilibrio en la dificultad de las tareas puede ser aburrido para los participantes.

Otro principio clave es que *no se contempla un máximo* alcanzable en la calidad de una experiencia (Moneta, 2012). Este, en conjunción con el anterior principio, debe interpretarse como que las personas buscan continuamente tareas de mayor complejidad, lo cual está en la raíz de que progresen, antes que demandar las actividades solo en base a que ellas no les resulten ni muy fáciles ni muy difíciles (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996).

Por otra parte, se pone en duda que el *flow* tenga una *naturaleza autotélica* exclusivamente (Csikszentmihalyi, 1975), lo que implica que no es una teoría de la motivación que deba concebirse solo para experiencias intrínsecamente motivadas. Así, Csikszentmihalyi (2014) y Csikszentmihalyi & LeFevre (1989) demostraron que la mayor parte del tiempo, las personas no experimentan *flow*, pero perseveran en sus tareas por causas extrínsecas. Igualmente, Mannell, Zuzanek & Larson (1988) encontraron que en las actividades de ocio elegidas libremente en las que existían premios extrínsecos, se producían los mayores niveles de *flow*. Además, Moneta (2012) sugiere que, precisamente cuando en los modelos se incluye dicha naturaleza autotélica como un componente más del *flow*, disminuyen sus ajustes.

Asimismo, se asocia el estado de *flow* con la positividad que produce debido a *momentos álgidos y a la perfección en las tareas* (v.g. Jackson & Csikszentmihalyi, 1999; Jackson & Roberts, 1992), pero igualmente se ha probado que no todo son consecuencias positivas (cf. Schüler, 2012; Saxena et al. 2004) o que no se necesite cambiar de estado psicológico en ocasiones para conseguir metas específicas (Schüler, 2012).

Además, tras el análisis de contenido de numerosos textos sobre la Teoría Flow, resulta paradójico que solamente podamos decir que algunas personas pueden experimentar flow en determinadas circunstancias. En ningún caso, parece que haya una forma universalmente aceptada para definirlo, modelizarlo y, mucho menos, para medir su intensidad, cuando no sea considerado como un rasgo más de la personalidad. Tampoco existe acuerdo en el carácter autotélico del flow, ni siquiera si ello en sí mismo es verdaderamente relevante (Moneta, 2012). Sin embargo, resulta notorio que los estudios sobre el flow se dan en ámbitos muy diversos, desde perspectivas completamente fenomenológicas que se nutren del Paradigma de la Psicología Positiva a otras absolutamente experimentales, al considerarse una teoría sobre la motivación que puede explicar qué hace de las experiencias vividas algo atractivo.

4.2. Conclusiones sobre los modelos de la Teoría Flow.

Con respecto a los modelos teóricos sobre el *flow*, comenzaremos por reflexionar sobre los que hemos categorizado como cartesianos o gráficos. En ellos, es fundamental saber que pueden existir problemas metodológicos en su desarrollo y validación (Moneta, 2004). Es por ello que no ha sido posible, en base a un riguroso análisis de contenido, conocer la

capacidad predictiva de ninguno estos modelos y, en consecuencia, tampoco se ha encontrado un trabajo que permita compararla en base a métricas conocidas. Consecuentemente, entendemos que debemos buscar alternativas a los modelos cartesianos del canal, 4 y 8 cuadrantes, ya que:

- No fueron diseñados para distinguir condiciones de micro, meso o macroflow de otros estados psicológicos (p.e. relajación y microflow se parecen).
- Se incluyen en dichos modelos los propios axiomas de la teoría que se quiere contrastar con ellos, en lugar de derivar su geometría a partir de los datos registrados exclusivamente. Más concretamente, la idea de balance ya está implícita en el modelo del canal, además de su linealidad con las variables *skills* y *challenges*.
- Se fuerza la geometría a priori de los cuadrantes de los modelos de 8 canales, ya que Massimini, Csikszentmihalyi & Carli (1987, p.546) explican que se establecieron arbitrariamente.
- No se muestran en los trabajos métricas de ajuste con las que poder evaluar y comparar su capacidad predictiva.
- Incluso usando la técnica ESM, los formularios ESF con los cuales se tomaron datos para definir o contrastar los modelos cartesianos de *flow* son diferentes en cuanto a los ítems que contienen y no conocemos sus propiedades psicométricas. Esto se puede deber, en parte, a que el *flow* se ha venido estudiando desde una perspectiva fenomenológica, como reconocen Delle Fave & Bassi (2016).
- Las dimensiones de la calidad de una experiencia (p.e. concentración) pueden predecirse de manera independiente, a partir de la variable *skill*, de la variable *challenge* o del equilibrio entre ellas, aunque en menor grado con esta última (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996). Según explican estos autores, ello puede ser a causa de que *challenges* y *skills* sean conceptos agregados, por lo que deberían desarrollarse escalas con varios ítems capaces de desagregar dichos constructos. Además, cuando valoramos en algún cuestionario preguntas del tipo "retos de la actividad", subjetivamente lo hacemos con respecto a nuestras competencias en la actividad y viceversa (Rheinberg et al., 2007), lo cual podría explicar, en parte, que tanto las variables *challenges*, como *skills*, independientemente, puedan predecir la calidad de una experiencia, así como que la variable equilibrio lo haga en menor grado. En este sentido, los 3 modelos citados contienen estas dos métricas en sus ejes y no se desagregaron al definirlos.
- Resultaba imposible comprobar por medio de otros test cuál era el estado emocional en el que se encontraban los participantes, dando por válida la predicción del modelo, pues contestar dichos formularios constantemente haría imposible el normal desarrollo del diseño instruccional.

4.3. Identificación de áreas de investigación en el estado del arte sobre la Teoría Flow.

En vista de lo anterior, identificamos un marcado interés en las investigaciones de vanguardia sobre la Teoría Flow que apuntan hacia perspectivas fisiológicas (DelleFave, 2015).

Asimismo, resulta crucial explorar nuevas técnicas de modelado matemático que pudiesen incorporar múltiples dimensiones del *flow* y definirlo como un estado compuesto por múltiples funciones no lineales (los estudios las suponen lineales, cf. Csikszentmihalyi, 1975), ya que el *flow* tiene una naturaleza notoriamente estocástica.

Igualmente, nuevos modelos tienen que surgir de la información latente en los datos recopilados y no tanto en axiomas matizables, como el principio de equilibrio, que ha sido puesto en duda (Kimiecik & Stein, 1992). Quizás con ello pudiésemos pasar de enfoques que determinan los estados óptimos siempre medidos a posteriori (es lo que se observa en todas las investigaciones mostradas), a monitorizarlo con una alta granularidad (solo algunos estudios experimentales lo pretenden (v.g. de Manzano et al., 2012) o poder pronosticarlo (ninguno estudiado parece hacerlo realmente, aunque se desearía).

Otra conclusión destacable es que faltan estudios que permitan evaluar el papel de determinadas metodologías educativas, más allá del que realizaron Rathunde & Csikszentmihalyi (2005) y el método Montessori (c.f. Montessori, 2013). En cambio, sí hay algunos trabajos más dedicados a la gamificación educativa desde la *Teoría Flow* (Kiili et al., 2012), pero solo se ha encontrado uno sobre STEM, por parte de Andersen (2016), que investigó en la Etapa Secundaria. Aparte de esto, en contextos educativos, las sesiones de clase investigadas suelen ser escasas y cortas, lo cual impide conocer la influencia del efecto novedad (cf. White, 1959). Tampoco parecen abundar los contextos educativos presenciales con niños. Y parece que la enseñanza presencial, para todo rango de edad, recibe menos atención que la online en las investigaciones.

Por otra parte, sabemos que existen diferencias individuales en cuanto a la experimentación del *flow* y su propensión a este:

- En intensidad y frecuencia (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988; Moneta, 2004, entre otros).
- Dependientes de rasgos de la personalidad como bajo neuroticismo y alta meticulosidad (Ullén et al., 2010), así como variables situacionales (Ullén et al., 2012) como puede ser el propio gusto por la actividad concreta (Csikszentmihalyi, 1975).
- Positivamente relacionados con la alta autoestima, autoconcepto y habilidad percibida (Jackson et al.,1998, 2001; Asakawa, 2010; Clarke & Haworth, 1994).
- Positivas ante los elevados niveles de satisfacción con la vida (Asakawa, 2010).
- Positivas frente a la mayor motivación intrínseca (Hektner & Csikszentmihalyi, 1996).
- Positivas respecto al disfrute de la experiencia (Hamilton et al., 1984).
- Positivas ante un mejor bienestar psicológico (Asakawa, 2010, Clarke & Haworth, 1994).
- Negativas con respecto a elevados niveles de ansiedad (Asakawa, 2010; Jackson et al., 1998).
- Si existe tendencia a adoptar un rol activo frente a la imitación pasiva (Hamilton et al., 1984).
- Moderadamente ligados a factores genéticos hereditarios, ya sea en un contexto laboral, en la realización de rutinas diarias o en actividades de asueto (Mosing et al., 2012).
- Indiferente a la inteligencia general (Mosing et al., 2012) pero positiva con respecto a la emocional (Srinivasan & Gingras, 2014) considerando la propensión a experimentar *flow*.
- En base a la capacidad para concentrarse (Jackson et al.,1998, 2001) y al modo en el que se produce dicha concentración. En este sentido, el *flow* es un estado de ensimismamiento sin esfuerzo aparente, muy distinto de estados de concentración profunda que se sostienen esforzadamente, lo cual puede resultar clave para diferenciarlo mediante pruebas fisiológicas.

De lo anterior se desprende que, si se realiza una investigación educativa presencial relacionada con la teoría de Csikszentmihalyi, por ser muy escasas, deberían incorporarse tests psicométricos complementarios que permitan sopesar estos factores, ya que afectan a los niveles autopercibidos de intensidad del *flow* y se acentúan ante personalidades más o menos autotélicas. Dichos test han de ser convenientemente escogidos, de manera que no cansen excesivamente a los participantes (Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007). Además, un test genérico de personalidad, como el Big Five Questionnaire (Glodberg, 1992) podría servir como contrapunto, como encontramos en el trabajo de Ullén et al. (2012).

Además, si bien el *flow* es una experiencia subjetiva (Csikszentmihalyi, 1975), los diseños instruccionales se conciben teniendo en mente criterios de dificultad secuencial más objetivos (p.e. taxonomías). Ello estaría de acuerdo con los enfoques objetivos propuestos por Eckblad (1981).

Igualmente, puesto que (Ghani & Deshpande, 1994) demostraron que en el estado de *flow* las personas adoptan un comportamiento exploratorio, este debería traducirse en movimientos corporales que podrían ser parametrizados. No obstante, el uso de acelerómetros y giróscopos, siempre que éstos puedan pasar desapercibidos por los participantes en la investigación, harían posible extender las investigaciones a contextos presenciales más abiertos y no dependientes de dispositivos electrónicos para la docencia. Dicho comportamiento exploratorio se manifestaría teóricamente como consecuencia de alcanzar niveles altos de *flow*, tan pronto como los participantes vayan percibiendo control de la situación y adecuación del reto que se les presente (Ghani & Deshpande, 1994).

De la misma manera, el *flow* debe considerarse más bien como un proceso que como un estado, pues es muy volátil (Pearce and Howard, 2004, p.349) y su nivel de intensidad se muestra cambiante, lo cual no quiere decir que en toda circunstancia el paso temporal a estados psicológicos distintos sea necesariamente negativo para el aprendizaje (c.f. Schüler, 2012).

Además, en entornos mediados por tecnología, Pearce (2004) advierte de la importancia de diferenciar entre el *flow* que produce la tarea propuesta, de la que se asocia al uso de los dispositivos. Esta idea resulta coherente con lo manifestado por Ghani, Suppnik y Rooney (1991), quienes encuentran que, en entornos virtuales, sus participantes experimentaron mayores niveles de *flow* que en los presenciales, para el mismo tipo de tareas, lo cual consolida la importancia del uso de los dispositivos electrónicos.

Tampoco parece claro que el *flow* carezca de posibles efectos indeseables en las personas, puesto que a veces comporta riesgos para su integridad física o degenera en adicciones (Schüler, 2014). Por consiguiente, con técnicas de estudio asíncronas (v.g. por medio de cuestionarios posteriores a una experiencia) o de baja frecuencia, resulta imposible monitorizar una actividad con la granularidad suficiente. Por ello, coincidimos con Keller & Bless (2007) en la necesidad de realizar estudios fisiológicos sobre la *Teoría Flow*. Es por ello que la incorporación de métodos de recogida de datos fisiológicos sería de utilidad, además de ser un campo de estudio de interés futuro (Engeser & Rheinberg, 2008; Delle Fave, 2016), siempre que ello interfiera lo menos posible con las tareas en las que participan las personas.

En cuanto a las técnicas de estudio del *flow*, la idea básica que subyace en el método ESM consistente en cuestionar periódicamente a los participantes en una actividad (v.g. Csikszentmihalyi & Larson, 1987; Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007; Clarke & Haworth, 1994), sigue plenamente vigente (véase Pearce & Howard, 2004 o Yang & Quadir, 2018), aunque los cuestionarios utilizados pudieran ser otros que presenten mejores

propiedades psicométricas, como muestran Engeser & Rheinberg (2008), entre otros. Asimismo, quisiéramos resaltar que dichos cuestionarios y escalas son siempre fijos en todos y cada uno de los trabajos analizados, es decir, que se muestran siempre completos y con los mismos ítems bajo toda circunstancia. Aquí vemos una oportunidad de emplear cuestionarios en conjunción con preguntas dinámicas que puedan orientar al docente en un aula y le ayuden a evaluar más eficazmente estados de *flow* y predecirlos por medio de dispositivos ponibles de consumo (smatwatches, mindsets, etc.), sirviendo como ejemplo de ello Seo et al. (2021). En este sentido, Pearce & Howard (2004) advierten que el *flow* puede producirse tanto por la participación en la actividad educativa como por la propia interacción con los dispositivos electrónicos, aunque desconozcamos la intensidad atribuible a cada caso (teóricamente, puede tratarse de microflow en el segundo caso, si consideramos a Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988).

Igualmente, existen bastantes aspectos a dilucidar con respecto a la Teoría Flow, la cual es objeto de nuestro interés por las numerosas aplicaciones que acredita en contextos educativos, tanto presenciales como virtuales (c.f. Webster, Trevino & Ryan, 1993; Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003; Rathunde & Csikszentmihalyi, 2005; Heutte & Boniwell, 2014; Csikszentmihalyi 2014a; Yang & Quadir, 2018; van Schaik, Martin & Vallance, 2012; Liu & Song, 2021; Heutte et al., 2021; entre otros). Concretamente, sabemos que:

- La Teoría Flow se encuadra dentro de las teorías del *self* (Heutte et al. 2006) y la Psicología Positiva (Csikszentmihalyi, 2014; Snyder & López, 2015); y pertenece al paradigma psicológico fenomenológico (Moneta & Csikszentmihalyi, 1996, entre otros). Ello le confiere un carisma especial, de modo que, en su devenir histórico, comienzan a usarse métodos cualitativos y cuestionarios (Csikszentmihalyi, 1975; Hektner, Schmidt & Csikszentmihalyi, 2007; Csikszentmihalyi, 2014b). Asimismo, aunque por el carácter fenomenológico de los primeros estudios sobre el *flow* se conceptualizase como una experiencia subjetiva (Csikszentmihalyi, 1975; Engeser & Schiepe-Tiska, 2012, p. 20), en la actualidad, existe una creciente necesidad de estudios de corte fisiológico (Keller & Bless, 2007; Engeser & Rheinberg, 2008; Engeser & Schiepe-Tiska, 2012; Schuler, 2012 entre otros), en busca de métodos de estudio más precisos.

- No son bien entendidas las condiciones que conducen al *flow* ni sus consecuencias (Engeser & Schiepe-Tiska, 2012; Moneta, 2012). Ello queda puesto aún más de manifiesto, cuando, en un trabajo experimental, Løvoll & Vittersø (2012), matizan la hipótesis del equilibrio en la Teoría Flow, la cual es un axioma central de la misma (Csikszentmihalyi, 1975; Massimini, Csikszentmihalyi & Carli, 1987; Csikszentmihalyi, 1990; entre otros), que se asocia con las condiciones previas necesarias para alcanzar dicho estado (Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988).

- No existe un "patrón oro" para medir el *flow* mediante el uso de cuestionarios (Moneta, 2012). Ello no resulta tranquilizador, ya que cabe preguntar cuántos patrones de medida había entonces, puesto que no lo aclaró, además de que no todos se sometieron a procedimientos de validación (Moneta, 2012).

- Son mal entendidas las situaciones en las que acontece interacción humano-computadora en las experiencias óptimas (Engeser & Schiepe-Tiska, 2012).

- Es necesario comprender mejor el *flow* en contextos sociales (Custodero, 2005; Weber et al., 2009; Moneta, 2012; Zumeta et al., 2015; Zumeta et al., 2016; Kryston et al., 2018; Fisher et al., 2021). Además, existe una revisión sistemática reciente

para conocer aspectos grupales del *flow*, definiciones y métodos de medida, justificada por esta misma necesidad (c.f. Pels, Kleinert & Mennigen, 2018).

- En una revisión bibliográfica narrativa reciente, Swann et al. (2018) argumentan que la Teoría Flow se aproxima a un punto de crisis, que puede requerir un cambio de paradigma, debido a inconsistencias en la definiciones y métodos de medida. Aunque el ámbito de dicho estudio está limitado a cuestionarios mayormente relacionados con la determinación del *flow* durante actividades deportivas, estos argumentos debemos interpretarlos conforme a voces aún más críticas que se vienen sucediendo a lo largo del tiempo, como encontramos en los trabajos de Mannel (1979), Kimiecik & Stein (1992), Emerson (1988), Kryston et al., (2018) o Fisher et al., (2021). No obstante, consideramos que un cambio de paradigma en términos propuestos por filósofos de la ciencia (Khun, 1959; Popper, 1996), puede ser aventurado aún sin deconstruir (Heidegger, 1951; Derrida, 1967) los métodos empleados para determinar el *flow*, cuando carecemos, al menos, de un compendio aceptable de ellos (c.f. Moneta, 2012). Lejos de consideraciones metafísicas, sino prácticas, esta deconstrucción (deshacer analíticamente algo para darle una nueva estructura, según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, consultado el 25/01/2023) se opone a una demolición sin más del edificio del conocimiento, y nos lleva a cuestionarnos si, antes de cambiar de paradigma, no deberían plantearse también nuevas hipótesis que someter a prueba.

En definitiva, existe una importante carencia de trabajos que emplean métodos fisiológicos en la Teoría Flow en contextos educativos, grupales y naturales, que justifican el interés en realizar esta tesis doctoral. Además, escasean los trabajos donde participan niños, siendo de interés particularmente importante investigar contextos educativos mediados por tecnología, lo cual puede hacerse desde el ámbito de las Ciencias de la Computación.

En consecuencia, proponemos realizar estudios en contextos educativos reales, empleando técnicas fisiológicas poco invasivas, basadas en dispositivos ponibles que permitan extraer parámetros de variabilidad del ritmo cardiaco grupales, con los que comparar las dimensiones de los cuestionarios FKS y EduFlow. Gracias a ello, sería posible desarrollar sistemas de apoyo al docente que permitan evaluar el estado de flow de los grupos y, con ello, mejorar los niveles de bienestar y rendimiento educativo de los mismos.

PARTE III. IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA.

En esta parte de la tesis, concretaremos la propuesta metodológica esbozada en el apartado 1.6, donde propusimos situarnos en un paradigma pragmático de investigación. De acuerdo a los objetivos de esta tesis y dicho paradigma, pudimos argumentar que emplearemos un **diseño de investigación cuasiexperimental** de **enfoque mixto** (Sampieri, 2018), con **pretest y postest**, **dos grupos de control y dos experimentales**, implementado en **dos ciclos de Investigación-Acción** (Stenhouse, 1984). En la Investigación-Acción, el investigador es participante y, en cada ciclo, se parte del establecimiento de problemas educativos prácticos, se establece un plan para resolverlos, se desarrolla dicho plan y, finalmente, se evalúa (Elliot, 2005). Tras cada evaluación, surgen nuevos problemas que representan el inicio de otro ciclo de investigación-acción (ver Figura 3.1).

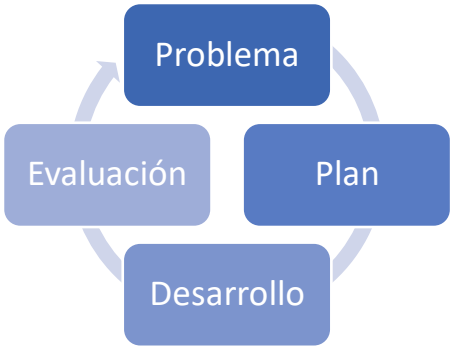


Figura 3.1. Representación esquemática de un ciclo de investigación-acción. Simplificado de Elliot (2005, p. 89).

En cada ciclo de Investigación-Acción, tendremos presente la problemática específica que identificamos en la parte II de esta tesis, los objetivos y preguntas de investigación que los justifican, así como la hipótesis a contrastar, dentro de un contexto experimental específico, que se encuadra en un colegio público de Educación Primaria de España, donde los participantes pertenecen a 5º y 6º curso.

Por consiguiente, comenzaremos destacando en el capítulo 6 las consideraciones éticas, comunes a toda la implementación metodológica por ciclos, observando en primer lugar la edad de los participantes.

Puesto que empleamos dos ciclos de Investigación-Acción, articularemos los capítulos sucesivos en dos ciclos simétricos. Cada ciclo mostrará un apartado propio para su diseño, implementación, resultados, reflexión y toma de decisiones. Completaremos este parte con una discusión general de los dos ciclos.

Para finalizar, debemos poner de manifiesto que el diseño experimental que mostramos, fue revisado por pares ciegos, publicado y defendido en un congreso internacional, como se observa en Rosas, Burgos & Padilla-Zea (2022).

CAPÍTULO 5. CONSIDERACIONES ÉTICAS.

Esta tesis se realizó siguiendo en todo momento la Declaración de Helsinki, adoptada por la 18ª Asamblea Médica Mundial, así como la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Igualmente, cuenta con autorización del Comité de Ética de UNIR, con código de expediente PI 015/2022.

Además, por participar menores, se solicitó consentimiento informado de participación en la investigación a los tutores legales y se informó a la Fiscalía de Menores de Granada sobre las características, propósitos e instrumentos de recogida de datos empleados, quedando sendas copias del acuerdo bajo custodia del investigador principal y de los padres. Tanto la investigación como los programas formativos impartidos, contaron con apoyo unánime del claustro de profesorado, del Consejo Escolar y de la Asociación de Madres y Padres (AMPA), incluyéndose en los documentos de centro bajo el epígrafe de programas de innovación educativa.

Asimismo, los datos fueron anonimizados para garantizar la intimidad de los participantes, excepto los del profesor, que es el único investigador-participante, lo cual hace imposible que no sea identificable. En cualquier caso, no se recabaron datos que, bajo la Ley Orgánica 3/2018, puedan considerarse como de carácter personal.

Por otra parte, en todos los cuestionarios, administrados en formato papel, se añadieron antes de las preguntas unos avisos informando sobre la voluntariedad del proceso, los derechos de abandonar en cualquier momento la investigación, sin dar ningún tipo de explicaciones y sin consecuencias de ningún tipo, cancelar los datos recabados y conocer los resultados individuales obtenidos. Junto a ello, se añadieron los datos de contacto del investigador principal y un logotipo identificativo de la institución a la que pertenece.

Ningún participante recibió gratificación de ninguna clase por participar en esta investigación, salvo beneficiarse de los conocimientos que se adquieren por seguir los cursos que se imparten a toda la clase, por llevarse a cabo en horario lectivo escolar.

Se procuró un seguro específico para los participantes y se siguieron los protocolos COVID vigentes durante el primer ciclo de Investigación-Acción. Durante el segundo ciclo de Investigación-Acción, no fueron necesarios estos protocolos, pero mantuvimos la configuración y espacios del aula para no alterar este aspecto metodológico.

También es preciso poner de manifiesto que se siguieron unos protocolos éticos especiales para la colocación de dispositivos fisiológicos. Concretamente, los relojes y las bandas deportivas se los ponía el alumnado individualmente en los vestuarios del centro. Por consiguiente, a fin de garantizar que el ajuste de los dispositivos Polar H10 fuese correcto, previamente, el investigador principal, en presencia de profesorado del centro y del resto del alumnado, llamaba individualmente a cada participante para abrochar con ambas

manos sobre la ropa las bandas elásticas de los dispositivos. A continuación, sujetaba el sobrante del elástico con una brida de plástico y, una vez tuviese el tamaño exacto, se soltaba su broche y se asignaba en adelante al mismo participante. El elevado módulo elástico de las bandas deportivas, asegura que el investigador tiene en todo momento ambas manos sujetando la banda elástica, pues no podría cerrar el broche, o sobre las bridas. Posteriormente, cada persona podía colocarse la banda elástica sobre la piel con la medida ajustada a su talla exacta en la privacidad del vestuario del colegio, tapándolo con su vestimenta habitual. Para quitarse el dispositivo, cada sujeto se soltaba el broche del elástico, lo cual solo requiere pulsarlo sin quitarse ropa en la privacidad del vestuario, cayendo el dispositivo por debajo de esta, recuperándolo nuevamente para el profesor. En caso de que un dispositivo no estuviese bien colocado, la aplicación del reloj no podía enlazarse mediante bluetooth con la banda deportiva, lo cual indicaba que debía repetirse el protocolo de colocación, que pronto interiorizaron los participantes. En la figura 3.2 se ilustran los aspectos más relevantes de este protocolo.

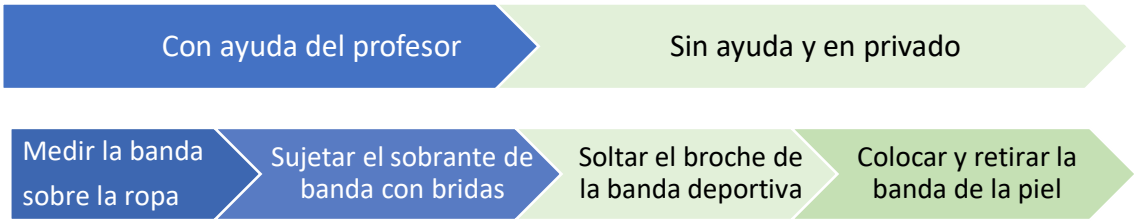


Figura 3.2. Protocolo de colocación de bandas deportivas polar H10. Elaboración propia.

Durante la docencia, se implementaron acciones encaminadas a la alfabetización digital del alumnado, especialmente sobre el uso seguro de tecnologías digitales que tengan acceso a Internet, de modo comprensible para estos. En cualquier caso, dicho acceso solo era necesario para el profesor en sus labores de investigación, para usar exclusivamente las aplicaciones desarrolladas al efecto o mostrar en el proyector del aula las lecciones. Por ello, el profesor se cercioraba de que el alumnado tuviese instaladas y actualizadas las aplicaciones de escritorio necesarias. También comprobaba que disponían de materiales adicionales en formato papel o en el escritorio de sus portátiles. Asimismo, se recordaba con frecuencia que el alumnado tenía expresamente prohibido el acceso a Internet durante las clases, mientras que, los adultos presentes en el aula, controlaban en todo momento el cumplimiento estricto de esta premisa.

También queremos recordar que la autenticidad, integridad y ética de los datos está salvaguardada por un sistema de registro de información en tiempo real, la recopilación de cuestionarios, entrevistas y pruebas de conocimientos en formato papel, así como por la presencia de los tutores en el aula. Las pruebas de conocimiento se corrigieron en presencia de alumnado y sus tutores y se dieron a conocer los resultados individualmente, nada más concluir las mismas. Esto es debido también a que las acciones formativas tuvieron lugar en horario lectivo escolar y eran de interés para los programas de innovación del centro educativo.

Asimismo, como cada ciclo de Investigación-Acción tuvo lugar en años académicos sucesivos, se realizaron sendos informes para renovar la autorización del Comité de Ética de UNIR, se recabaron nuevos consentimientos informados a los padres, se volvió a informar a la Fiscalía de Menores de Granada, se renovaron los acuerdos con el centro educativo y los seguros de los participantes.

CAPÍTULO 6. PRIMER CICLO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN (Grupos de control).

En este capítulo daremos cuenta del primer ciclo de Investigación-Acción. En consecuencia, dividiremos los contenidos para ilustrar, en ese mismo orden, el diseño implementado, la implementación realizada y los resultados obtenidos. Culminaremos el ciclo con una reflexión y toma de decisiones que den paso al segundo ciclo.

6.1. Diseño del primer ciclo de Investigación-Acción.

En el primer ciclo de Investigación-Acción, participaron los 2 grupos de control y el profesor-investigador. Se dividió en tres fases, como justificamos en el apartado 1.7. Dichas fases son: prestest, fase de docencia y postest. Los grupos de control siguieron 3 temáticas educativas distintas, empleando metodología STEAM, con arreglo a los lo dispuesto en el OE2. En este sentido, se propusieron las herramientas e instrumentos necesarios para esta fase, conforme a lo siguiente:

Fase pretest.

- Una prueba teórica y práctica para medir los conocimientos previos del alumnado, a fin de compararlos con los adquiridos tras la docencia, empleando los grupos de control para verificar el OE3. Se diseñaron al efecto, por parte del investigador.
- Una escala de medida a la propensión al *flow*, para identificar al alumnado no autotélico, para quienes no son adecuadas las escalas de prevalencia, que se requieren en base a los objetivos OE1, OE2 y OE3. De entre las discutidas en el estado del arte, seleccionamos el test SFPQ.
- Un cuestionario que identifique el estilo de aprendizaje del alumnado, como método para verificar si los diseños instruccionales implementados en la fase de docencia, perjudican a algunos en particular, como contraste al OE4. Preferimos el test de Felder-Silverman, siguiendo a Ramírez y Rosas (2014).

Fase de docencia.

- Una lista de asistencia a clase, para controlar si la asistencia tuviese incidencia en los rendimientos educativos (OE3) y como medida de satisfacción del programa formativo (OE4).
- Un sistema que contenga y muestre 3 diseños instruccionales con metodología STEAM, significatividad lógica, gradación de dificultad y ajustados a la edad de los participantes, que, a su vez, registre de manera fidedigna cómo se desarrollan, para discutir el OE3. Lo denominamos “panel de control” en esta tesis.

- Unos test para medir la prevalencia de *flow* de los participantes, necesarios para alcanzar los OE1, OE2, y OE4. Los objetivos específicos determinan que sean expresamente las escalas FKS-13 y EduFlow-1, discutidas en el estado del arte de este trabajo.
- Un sistema que registre parámetros de variabilidad del ritmo cardiaco sin ser invasivo, que también deberá registrar movimiento, para completar lo dispuesto en los OE1, OE2 y OE4, así como herramientas para el tratamiento de las señales. En este trabajo, se realizaron dos ejercicios de desarrollo infructuosos y uno satisfactorio, respecto de dispositivos fisiológicos. Se seleccionó una versión premium de Kubios (Niskanen et al., 2004), para el tratamiento de las señales.

a) Un diario del profesor que refleje las principales incidencias del ciclo, dando un contrapunto cualitativo a los resultados de corte cuantitativo.

Fase postest.

- Las mismas pruebas teóricas y prácticas de **conocimientos previos del alumnado**, para evaluar el incremento de conocimientos tras la fase de docencia (OE4), en este caso, entre los grupos de control.
- Unas **entrevistas al alumnado**, para comparar con esta técnica cualitativa los resultados obtenidos con técnicas cuantitativas. Se diseñaron *ad hoc* para esta tesis.

Por otra parte, el EO1 puede darse por concluido en esta fase, tenga el sentido que tenga, puesto que desconocemos si existe un correlato grupal entre fisiología y *flow* grupal, y, de no darse, no tendría sentido continuar con el OE2, cuya naturaleza es programática. Ello significa que, en esta fase, **desarrollamos y verificamos el correcto funcionamiento de los dispositivos fisiológicos que proporcionaban información diacrónica al finalizar las clases, junto a la herramienta panel de control**, pero todavía no eran capaces de asesorar al docente en tiempo real, como exige el OE2 al completo. **También, se desarrollaron sistemas que permitían pasar los cuestionarios en papel a formatos digitales y analizarlos**. En cambio, los OE3 y OE4, se discutieron para comparar diferencias de rendimiento educativo y niveles de bienestar, de manera inmediata, entre los propios grupos de control.

Cabe expresar que, el profesor, también es sujeto experimental. Por consiguiente, portaba los mismos instrumentos fisiológicos de recogida de datos de esta tesis propuestos para la fase de docencia y respondía a los mismos cuestionarios de prevalencia de *flow* que su alumnado. Los discentes, en cambio, participaban de todas las fases, aunque el profesor era el único con acceso al panel de control y al diario. Ilustramos el primer ciclo de Investigación-Acción con sus fases y herramientas específicas en la Figura 3.3, si bien las describiremos individualmente en detalle en el apartado de implementación del ciclo 1.

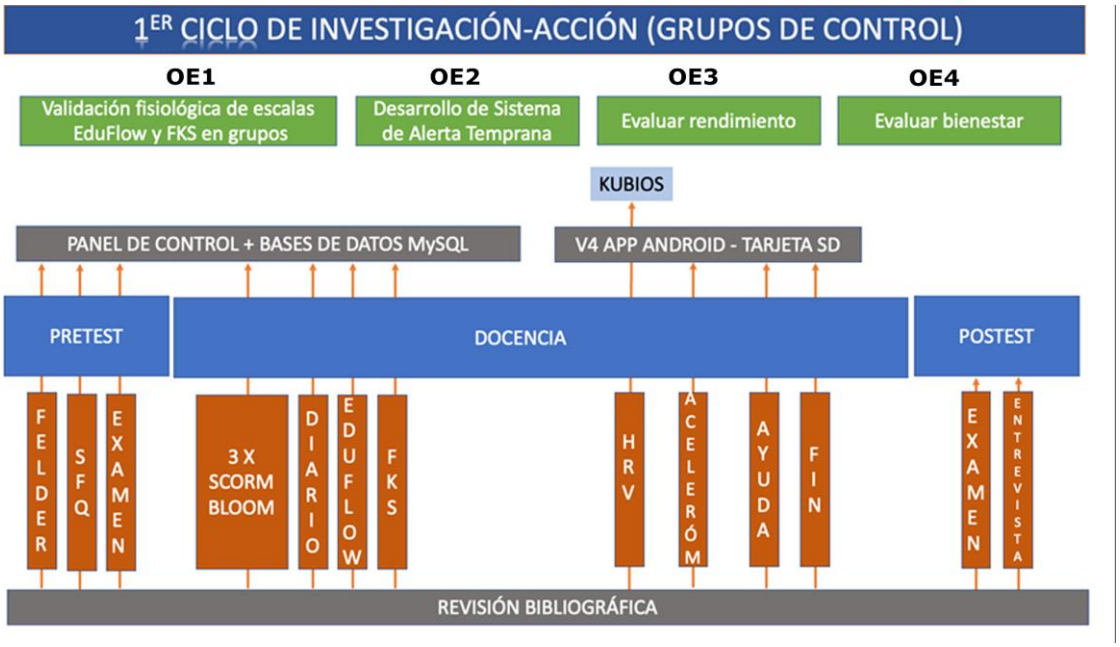


Figura 3.3. Representación esquemática del primer ciclo de investigación-acción. Elaboración propia.

6.2. Implementación del primer ciclo de Investigación-Acción en las aulas.

En este apartado, para seguir un discurso canónico y más fácilmente entendible, presentaremos primero información necesaria previa para comprender los desarrollos implementados. Especialmente, por su complejidad, añadimos unas nociones mínimas que permitan comprender en qué se basan las medidas HRV y cuáles se determinan en esta tesis. Después, describiremos las herramientas e instrumentos de investigación empleadas y su selección justificada. Continuaremos la sección con los desarrollos tecnológicos propios de este ciclo de Investigación-Acción. Acabaremos mostrando la selección de participantes y el cronograma de actuaciones. Lógicamente, este orden no es el seguido en la práctica, puesto que primero desarrollamos o adquirimos las herramientas necesarias y después, realizamos su despliegue.

6.2.1. Justificación de las técnicas de estudio de la variabilidad del ritmo cardiaco empleadas.

En esta tesis doctoral, se extraen con frecuencia parámetros cardiacos por medio del análisis de señales electrocardiográficas. Es por ello que incluimos apartados que permitan comprender de manera muy sucinta qué se mide y lo que significa, desde un punto de vista fisiológico, como haremos a continuación.

El corazón humano es un órgano extremadamente complejo, situado en la parte izquierda de la caja torácica, cuyo tamaño es similar al de un puño. Anatómicamente está dividido en 4 cámaras de distinto tamaño (2 aurículas y 2 ventrículos) que al contraerse (sístole) y

recuperarse (diástole) de manera cíclica, bombean la sangre a través de las venas y arterias. Ello es posible, también, gracias a unas válvulas en su interior que se abren y cierran para permitir la circulación de la sangre arterial y venosa sin que se mezcle (Saturno Chiu, 2017; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014). En este sentido, aunque el funcionamiento del corazón sea cíclico, es frecuente encontrar esquemas de funcionamiento del corazón en cuatro fases, donde la sangre venosa (desoxigenada) entra por la aurícula derecha, pasa al ventrículo derecho, de allí a los pulmones, vuelve oxigenada al corazón por la aurícula izquierda, pasa al ventrículo izquierdo y este la bombea al sistema arterial por la aorta (Saturno Chiu, 2017; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014).

Más en detalle, el miocardio del corazón puede concebirse como un músculo compuesto por células diferenciadas, denominadas miocardiocitos, que actúan como un sinticio (una sola célula con varios núcleos), pero también como una glándula, al producir hormonas propias (Huang et al., 1996).

Asimismo, el corazón tiene un marcapasos propio, representado por los nódulos sinoatrial y auriculoventricular pero, a su vez, el centro cardiovascular del cerebro es capaz de modificar su cadencia a través del Sistema Nervioso Autónomo, equilibrando el balance entre el flujo procedente de los sistemas Simpático y Parasimpático (Shaffer & Venner, 2013). Esto es posible gracias a las conexiones que tiene con el tronco encefálico a través del nervio vago y el glosofaríngeo (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014). En términos muy generales y simplificados, el Sistema Nervioso Simpático acelera el ritmo cardiaco, mientras que, el Parasimpático, lo relaja y permite su recuperación (Saturno Chiu, 2017; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014).

También hay que señalar que el sistema nervioso intrínseco del corazón posee neuronas propias y funciones de memoria a corto y largo plazo (Verkerk et al., 2012) que pueden influir en la presión, ritmo y cadencia cardiaca, asociada a factores hormonales (Shaffer, McCraty, & Zerr, 2014). Igualmente, el funcionamiento del corazón tiene una estrecha conexión con la respiración, el sistema límbico y el córtex frontal (Shaffer, McCraty, & Zerr, 2014; Torres et al. 2015; McCraty & Shaffer, 2015) y, por ello, con los procesos cognitivos (Thayer et al., 2009), las emociones primitivas, los procesos de memoria a largo plazo, las emociones complejas (Torres et al., (2015), la atención y la motivación (Schandry & Montoya, 1996). Asimismo, los intervalos entre pulsos cardiacos sufren variaciones debidas a la respiración, barorreflejos y factores ambientales (Kleiger, Stein & Bigger, 2005).

Además, cuando auscultamos los ruidos cardiacos normales, escuchamos dos golpes con distinta cadencia que son generados por la apertura y cierre de las válvulas del corazón (McCraty & Shaffer, 2015, entre otros). Registrando los ruidos cardiacos a lo largo del tiempo, obtenemos fonocardiogramas, donde estos dos sonidos de mayor intensidad coinciden aproximadamente con los máximos potenciales eléctricos de la onda electrocardiográfica (Wiggers, 1923; Mitchell & Wang, 2014), los cuales podemos medir con dispositivos, y con ello, establecer los tiempos que transcurren entre pulsos cardiacos en milisegundos. Asimismo, la presión aórtica, ventricular, auricular y el volumen ventricular fluctúan conforme se suceden los latidos del corazón (Wiggers, 1923; Mitchell & Wang, 2014). Además, el normal funcionamiento cardiaco es posible gracias a que se producen una serie de potenciales eléctricos cíclicos que, cuando se registran de manera gráfica a lo largo del tiempo, dan origen a un electrocardiograma. Lo anterior se resume en la Figura 3.4, componiendo un diagrama de Wiggers (1923), donde nos interesa especialmente el patrón normal que se repite en un electrocardiograma, el cual presenta unos picos y valles, a los cuales se les dan nombres (ondas P, Q, R, S y T). En esta tesis, medimos los intervalos en milisegundos entre ondas R consecutivas, lo cual es una medida de la variabilidad del ritmo

cardiaco (Shaffer & Ginsberg, 2017, entre otros). Asimismo, debido a que en un corazón sano es posible la existencia de pulsos anormales, es necesario filtrar la señal antes de extraer algunos parámetros cardiacos, los cuales se estudian desde los dominios temporal, de las frecuencias y mediante técnicas no lineales (Shaffer & Ginsberg, 2017; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014; entre otros).

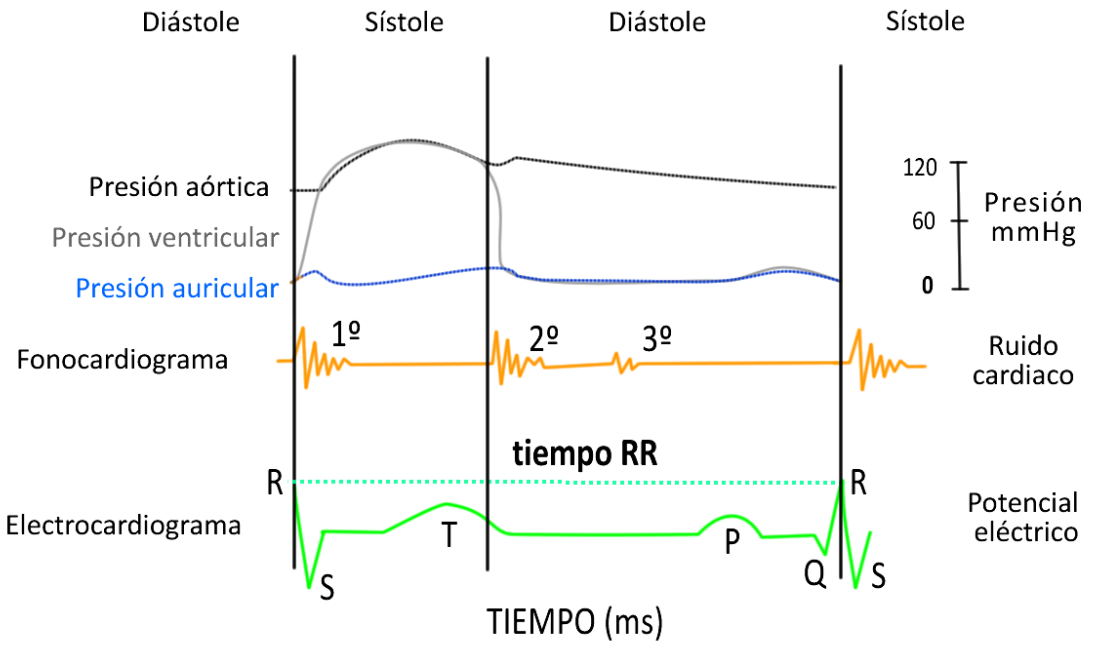


Figura 3.4. Diagrama de Wiggers. Elaboración propia, simplificando la versión de Mitchell & Wang (2014).

Igualmente, para realizar estudios sobre variabilidad del ritmo cardiaco, pueden usarse técnicas basadas en fotopletismografía, donde se determinan variaciones de la velocidad del flujo sanguíneo con sistemas de emisión y reflexión de haces de luz sobre la piel (c.f. Kamal et al., 1989, entre otros). También, técnicas basadas en electrocardiología (c.f. Saturno Chiu, 2017; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014, entre otros).

6.2.2. Datos cardiacos extraídos.

Antes de la medida de parámetros HRV, las señales electrocardiológicas se han de extraer de los archivos en los que se guardan, limpiarlas, filtrarlas, detendenciarlas y dividirlas en tramos temporales iguales (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014; Seppälä et al., 2014). Lo anterior, junto a la determinación del porcentaje de datos faltantes, ha sido posible utilizando el software Kubios 3.5.0 (Niskanen et al, 2004), el cual no requiere desarrollos que serían muy costosos, y ha sido contrastado por la comunidad científica (Tarvainen et al., 2002; Tarvainen et al. 2014, entre otros).

El software Kubios 3.5.0, además, exporta los datos de configuración y los parámetros HRV extraídos como archivos CSV, además de generar unos informes con gráficas en formato pdf. Estos datos se analizan de manera automatizada desde enfoques distintos, entre los que se encuentran el dominio de los tiempos y el dominio de las frecuencias, por medio de técnicas no lineales y geométricas (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014; Naranjo et al., 2015; Kleiger, Stein & Bigger, 2005; Shaffer & Ginsberg, 2017; Kuusela, 2013, entre otros).

Concretamente, desde el dominio de los tiempos, se aplican fórmulas estadísticas sobre datos de variabilidad del ritmo cardiaco durante periodos de tiempo determinados (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014). En cambio, para extraer parámetros desde el dominio de las frecuencias, se aplican técnicas de análisis espectral de las ondas electrocardiológicas, descomponiendo la señal por rangos de frecuencias (Naranjo et al., 2015). Por otra parte, las técnicas de análisis no lineal y geométricas son más heterogéneas, aunque destacan los gráficos de Poincaré (c.f. Houshyarifar & Amirani, 2017, entre otros), los Análisis de Fluctuación sin Tendencia (c.f. Peng et al., 1994; Kantelhardt, 2002; Bryce & Sprague, 2012) y los diagramas triangulares. Asimismo, Kubios 3.5.0 genera un índice de actividad simpática y otro índice de actividad parasimpática, que se compone a partir de 3 parámetros de variabilidad del ritmo cardiaco, e informa de la frecuencia de respiración, por medio de un algoritmo propietario (Tarvainen et al., 2014).

Los parámetros extraídos se explican detalladamente y se recogen en el Anexo 11, mientras que la configuración empleada en los informes de Kubios, se encuentra en el Anexo 12.

6.2.3. Test de Felder-Silverman.

En los pretest de los grupos de control y experimentales, se empleó la traducción al español de Ramírez y Rosas (2012) del test de Felder y Silverman (1988). Este test se recoge en el Anexo 5. Se utiliza para conocer el estilo de aprendizaje del alumnado, ya que en esta tesis se emplea un diseño instruccional que favorece un estilo de aprendizaje sobre otros, teniendo en cuenta las características del desarrollo cognitivo esperable en alumnado de 10-12 años. De ese modo, podemos evaluar la idoneidad del diseño instruccional, con respecto a posibles desviaciones de este estilo de aprendizaje favorecido. En el apartado de resultados, veremos que resultó una elección adecuada.

El test de Felder-Silverman consta de 44 preguntas con respuestas dicotómicas, que permiten establecer 4 categorías con dos subcategorías cada una, para determinar el estilo de aprendizaje de cada participante (activo-reflexivo, sensorial-intuitivo, visual-verbal y secuencial-global). Además, para cada subcategoría, se obtienen unas puntuaciones que se establecen sumando las veces que una determinada respuesta es asignable a la misma. Con ello, se establecen tres rangos que evalúan la dificultad para que la persona se adapte a dicha subcategoría o a su antagonista (1-3, 5-7 y 9-11). Cuanto mayor es el rango obtenido para una subcategoría, mayor debe ser la adaptación de la persona a la misma, pero la probabilidad de que no se adapte a la antagonista, se incrementa. La tabla 3.1 muestra las categorías y subcategorías que pueden evaluarse con el test de Felder, así como los rangos citados.

Tabla 3.1. Categorías, subcategorías y rangos para los estilos de aprendizaje según el test de Felder-Silverman. Elaboración propia.

	11	9	7	5	3	1	1	3	5	7	9	11	
Activo													Reflexivo
Sensorial													Intuitivo
Visual													Verbal

Además de tener prevista la impresión y respuesta de los test de Felder en papel, se tuvo previsto el desarrollo de una aplicación específicamente desarrollada para esta tesis doctoral. Esta, permitió almacenar las respuestas de los test de Felder por medio de formularios en PHP y persistirlas en una base de datos MySQL. Asimismo, por medio de transferencia de variables por el método POST a otros ficheros en PHP, calculaba los resultados del test para cada participante y los añadía a las respuestas sin analizar de cada cuestionario en la base de datos. Estos desarrollos se implementaron en un servidor propio y los datos fueron introducidos manualmente en los formularios en PHP por parte del investigador.

6.2.4. Swedish Flow Proneness Questionnaire (SFPQ).

El Cuestionario Sueco de Propensión al Flow (SFPQ) ya se estudió en detalle en el bloque II de esta tesis y se recoge en el Anexo 6. Se empleó en la fase pretest para conocer la propensión a experimentar *flow* de los participantes. Se seleccionó frente a otras alternativas viables (DFS1, DFS2, CFS) por cumplir el mismo propósito, estar también validado y no estar sujeto a las limitaciones de copyright que presentan estos últimos test. Se prefirió también al test APQ, pensando en que los participantes son niños y niñas. Si bien el test APQ es capaz de identificar dimensiones de las personalidades autotélicas, el test SFPQ es más corto y regular, ya que tiene 7 cuestiones que se repiten tres veces, frente a las 26 distintas del APQ.

Para emplearlo en esta tesis, contamos previamente con la traducción conjunta y desinteresada para esta investigación de una psicóloga y docente especialista de inglés, así como de una filóloga inglesa de la Escuela Oficial de Idiomas (EOI). Puesto que los resultados del test se calculan mediante la suma de sus ítems y no se extraen dimensiones ni componentes, únicamente determinamos su cohesión interna mediante alfa de Cronbach.

De manera análoga a lo que dispusimos para los test de Felder, tuvimos previsto recoger los cuestionarios SFPQ anonimizados en formato papel, para luego persistir las respuestas en una base de datos MySQL por medio de un formulario en PHP y otros archivos PHP intermedios. Estos desarrollos específicos fueron creados al efecto para esta investigación, implementándolos en nuestro servidor. Igualmente, el profesor introducía manualmente en la aplicación las respuestas en papel de los test SFPQ que le entregaron.

6.2.5. Escala EduFlow.

Ya se describió en detalle el cuestionario EduFlow-1 en la parte II de esta tesis y se recoge en el Anexo 7. Se seleccionó sobre otras opciones para evaluar la prevalencia de *flow* en los participantes, debido a que está validado estadísticamente y no tenemos constancia de que haya sido validado fisiológicamente (Rosas, Burgos & Padilla-Zea, 2022; Rosas, Padilla-Zea & Burgos, 2023), de ahí que ello sea un objetivo de esta tesis. Además, la escala EduFlow es adecuada para evaluar la prevalencia de *flow* en grupos de alumnos/as que trabajan

empleando metodología de trabajo por proyectos, tanto presencialmente como online (c.f. Heutte et al., 2016).

Previa a su utilización, se tradujo para este trabajo por dos psicólogas y docentes especialistas de inglés y francés, respectivamente, así como por profesoras de la Escuela Oficial de Idiomas. Su proceso de validación forma parte de los resultados experimentales, que ocupan parte de esta tesis, como veremos. Anticipamos, en cambio, que no todas las dimensiones del cuestionario EduFlow se verificaron en nuestro contexto, pero sí mostró una buena coherencia interna entre sus ítems, en términos de alfa de Cronbach. En cualquier caso, se recogieron anonimizados en formato papel tras las sesiones prácticas con los grupos experimentales y de control. Posteriormente, se registraron y analizaron como de costumbre en formularios en PHP y una base de datos MySQL, desarrollos específicamente para esta tesis.

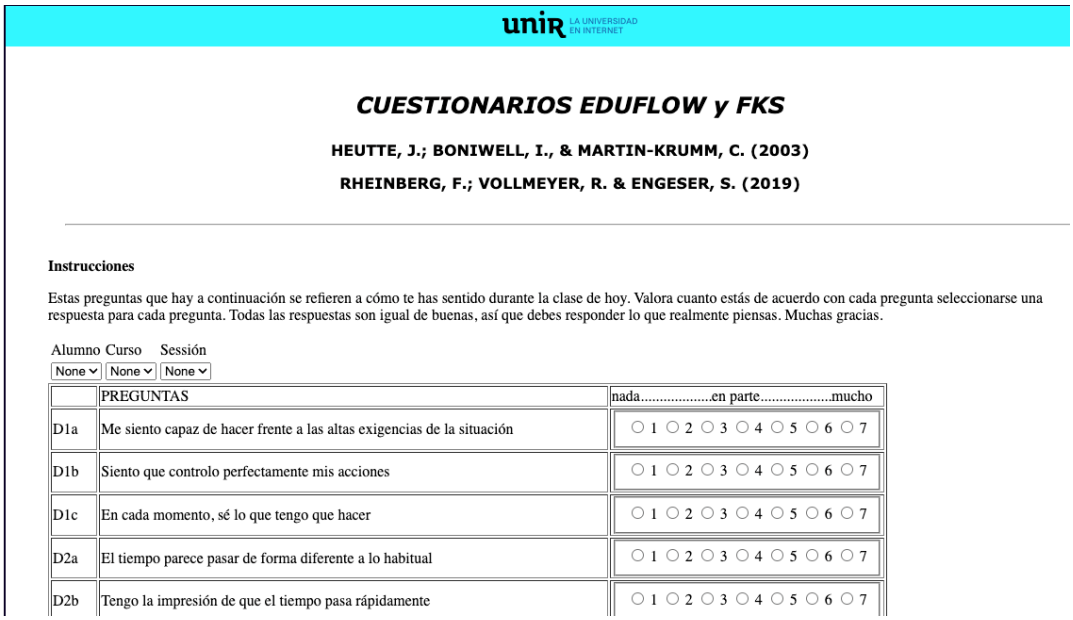
6.2.6. Flow Kurtz Scale.

Las escalas FKS han sido descritas en detalle en la parte II de esta tesis y aparecen en el Anexo 7. En este sentido, optamos por emplearlas al estar validadas estadísticamente y contar con validación fisiológica en individuos (c.f. Knierim et al., 2018; Ullén et al., 2010, Peifer et al., 2014). Sin embargo, no tenemos constancia de que haya sido validada fisiológicamente en grupos, por lo que dicha validación es objetivo de esta tesis.

Además, su selección es pertinente, ya que la escala FKS es adecuada para evaluar la prevalencia de *flow* en cursos que emplean metodologías de trabajo por proyectos mediados por tecnología (Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003; Engeser & Rheinberg, 2008) y donde se emplea metodología STEM (Andersen, 2016), sirviendo en los grupos de control como contrapunto de la escala EduFlow. Precisamente, seguimos las recomendaciones de Andersen (2016) para seleccionar una escala FKS de 10 ítems y eliminar las preguntas 2 y 8, a fin de dar mayor fiabilidad a la escala y no extender los cuestionarios, tratando de aliviar el hartazgo de los respondientes (c.f. Bradburn, 1978).

Igualmente, se siguió el mismo procedimiento de traducción y validación que el llevado a cabo con la escala EduFlow, demostrando buena coherencia interna entre sus ítems, en términos de alfa de Cronbach, pero sin que podamos verificar las mismas dimensiones extraídas por Rheinberg, Vollmeyer & Engeser (2003), como veremos en los resultados experimentales.

También cabe indicar que los cuestionarios FKS se recogieron anonimizados en papel tras cada lección, para analizarlos y registrarlos con un formulario en PHP y una base de datos MySQL, desarrollados específicamente para esta tesis. En la Figura 3.5, mostramos una captura de pantalla de dicho formulario, que se presenta en conjunto con la escala EduFlow.



unir LA UNIVERSIDAD EN INTERNET

CUESTIONARIOS EDUFLOW y FKS

HEUTTE, J.; BONIWELL, I., & MARTIN-KRUMM, C. (2003)

RHEINBERG, F.; VOLLMEYER, R. & ENGESER, S. (2019)

Instrucciones

Estas preguntas que hay a continuación se refieren a cómo te has sentido durante la clase de hoy. Valora cuanto estás de acuerdo con cada pregunta seleccionarse una respuesta para cada pregunta. Todas las respuestas son igual de buenas, así que debes responder lo que realmente piensas. Muchas gracias.

Alumno Curso Sesión

None None None

	PREGUNTAS	nada.....en parte.....mucho
D1a	Me siento capaz de hacer frente a las altas exigencias de la situación	1 2 3 4 5 6 7
D1b	Siento que controlo perfectamente mis acciones	1 2 3 4 5 6 7
D1c	En cada momento, sé lo que tengo que hacer	1 2 3 4 5 6 7
D2a	El tiempo parece pasar de forma diferente a lo habitual	1 2 3 4 5 6 7
D2b	Tengo la impresión de que el tiempo pasa rápidamente	1 2 3 4 5 6 7

Figura 3.5. Captura de pantalla de los cuestionarios EduFlow y FKS creados con PHP y MySQL. Elaboración propia.

6.2.7. Entrevistas.

Al finalizar cada temática (robótica, diseño 2D y diseño con Roblox Studio), se realizaron entrevistas a cada participante, recogiendo sus respuestas por escrito de puño y letra. Se recogen en el Anexo 8.

6.2.8. Exámenes de conocimientos (pretest-postest).

Al inicio y al final de cada bloque temático distinto (robótica, diseño 2D y diseño con Roblox Studio), el alumnado realizó una prueba de conocimientos teóricos y prácticos, a fin de verificar el OE3.

Estas pruebas se recogen en los anexos 9 y 10, respectivamente.

6.2.9. Diario del Profesor.

Como práctica común en investigaciones en contextos escolares, es altamente recomendable el uso de diarios de clase (Fernández, & Roldán, E. M. 2012; Ortín, Villanueva, & López, 2008). Es por ello que, siguiendo a estos autores, el profesor completó un diario clase, justo al acabar cada sesión lectiva, utilizando un procesador de texto. Dicho documento contine breves anotaciones cuyos objetivos fueron recoger las principales incidencias, tales como faltas de asistencia, problemas técnicos surgidos, materias impartidas e impresiones generales. Igualmente, se especificó la fecha, hora y grado de consecución de los objetivos didácticos de cada sesión propuestos en los diseños instruccionales.

6.2.10. Hojas de asistencia.

A fin de controlar la asistencia del alumnado a cada sesión de clase, se creó una hoja de asistencia en Excel con los códigos anonimizados de los participantes, nunca con sus datos personales. El profesor pasaba lista a diario e iba anotando manualmente la misma.

6.2.11. Diseños instruccionales en formato SCORM.

En esta investigación nos interesamos por diseños instruccionales que siguieran metodología STEAM, siglas que en inglés significan Ciencia-Tecnología-Ingeniería-Arte-Matemáticas (Allina, 2017, entre otros). El elemento diferencial de la metodología STEAM es que el alumnado construye objetos digitales o físicos a partir de información o materiales previos, de manera interdisciplinar entre las áreas de conocimiento citadas (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019; Corbi & Burgos, 2017, entre otros). En este sentido, se emplearon dos temáticas STEAM (robótica educativa y diseño gráfico), para elaborar dos cursos diferentes. Este tipo de metodologías son adecuadas para evaluarse en términos de la Teoría Flow por medio de los cuestionarios EduFlow (Heutte, et al., 2016) y FKS-13 (Rheinberg, Vollmeyer & Engeser, 2003), como se expuso en la parte II de la tesis.

Asimismo, seguimos la Teoría de la Elaboración (Reigeluth, 1979; Reigeluth & Stein, 1983) en la cual se desarrollan los contenidos educativos en una espiral creciente de profundización y ampliación de los mismos, alrededor de ejes temáticos o epítomes. Ello hace que se establezcan niveles de elaboración (profundización y ampliación en los contenidos), volviendo tras cada ciclo a contenidos ya tratados, puesto que siempre se dejan aspectos sin tratar, de manera consciente. Esta secuenciación es coherente con los principios del Aprendizaje Significativo (Ausubel, Novak & Hanesian, 2001).

Junto con lo anterior, el nivel de dificultad de cada actividad propuesta se evaluó por medio de la taxonomía de Bloom para la era digital (Churches, 2009). En la taxonomía de Bloom se establece una gradación de actividades en 3 niveles, con 3 subniveles cada una, que comprenden habilidades de pensamiento inferior hasta llegar a habilidades de pensamiento superior (Bloom, 1990; Anderson & Krathwohl, 2001), tal y como se recoge en la Figura 3.6.

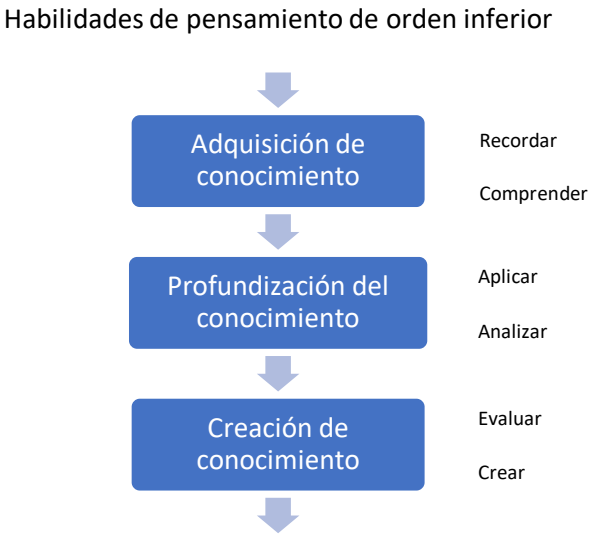


Figura 3.6. Gradación de la dificultad de las actividades propuestas, según la taxonomía de Bloom para la era digital (Churches, 2009). Elaboración propia a partir del autor.

Además, cada nivel de elaboración, se materializó en forma de módulos instruccionales en formato SCORM (ADL, 2009a; ADL, 2009b). Estos módulos instruccionales en formato HTML cuentan con textos, imágenes y vídeos explicativos que sirven de guía al profesor para repetir la misma secuencia instruccional y actividades con los grupos. Se crearon suponiendo un estilo de aprendizaje del alumnado Secuencial-Visual-Activo-Inductivo según el test de Felder & Silverman (1988), considerando que, por su edad, el alumnado debía encontrarse en la etapa de las operaciones concretas (Piaget & Inhelder, 2016). En total, se impartieron 3 módulos en SCORM en cada grupo-clase. Estos módulos en formato SCORM se reservaron para desarrollos propios que se describirán en el apartado siguiente y se instalaron como materiales de apoyo en un Learning Management System (LMS) o Sistema de Gestión de Aprendizaje Moodle 3.11.13 (Dougiamas & Taylor, 2003), para su posible acceso individual por parte del alumnado. En este sentido, un LMS es un entorno de gestión del aprendizaje en línea que permite la colaboración e interacción entre usuarios (Simanullang & Rajagukguk, 2020; Bradley, 2021), pero, en esta tesis, no se empleó con fines colaborativos. La elección de Moodle como LMS se debe a la compatibilidad de las tecnologías y lenguajes en los que se basa con el resto de herramientas específicamente desarrollados para esta tesis (bases de datos MySQL, HTML, PHP y paquetes SCORM), su licencia GNU gratuita (Dougiamas & Taylor, 2003), su amplia comunidad de usuarios (Peña Matos & Dibut Toledo, 2021), escalabilidad (Rodríguez, 2018), compatibilidad con nuestro servidor, así como por las herramientas de gestión de acceso a usuarios de las que está dotado (Al-Ajlan & Zedan, 2008).

Con respecto a las temáticas trabajadas, el grupo de 5º curso seguirá un programa de diseño gráfico digital en 2D y 3D, empleando MS Paint, Macromedia Fireworks 4 y Roblox Studio. El objetivo de los proyectos de diseño en 2D, era realizar viñetas de cómic, mientras que para diseño gráfico 3D, debían recrear sobre un plano a escala cómo era la localidad de Huéscar a principios de la Edad Moderna. En este último caso, diseñaron algunos paños de muralla, una puerta y una torre de la ciudad con bloques básicos. Conforme lo iban

consiguiendo, se les entregaban fases completas de la ciudad (muralla, castillo y viviendas). Finalmente, completaron el juego con elementos prediseñados de la caja de herramientas de Roblox Studio, de manera que no era necesario programar.

6.2.12. Panel de Control.

El panel de control es una herramienta que justificamos por la necesidad de mostrar al alumnado diseños instruccionales que no varíen a lo largo de los ciclos de Investigación-Acción, quedando su impartición fidedignamente registrada de manera automática. Decidimos desarrollarlo *ad hoc* para esta tesis, por medio de una web dinámica con 2 iframes (Figura 3.7).

Ello permitió proyectar sobre una pantalla en el aula los distintos diseños instruccionales en SCORM recién descritos, lo cual se mostraba en el iframe inferior de la web. Sobre este, se añadió otro iframe que registraba en una base de datos cada segundo las actividades mostradas, su clasificación según la taxonomía de Bloom para la era digital (Churches, 2009) y la actitud del docente. También era capaz de realizar anotaciones instantáneas discrecionales sobre aspectos observados en el aula. En este sentido, se diseñaron unos iconos interactivas circulares que cambiaban de color cuando los pulsaba el profesor. Ello le permitió registrar en una base de datos MySQL cuándo estaba explicando algo nuevo a los grupos (icono grupo) o algo ya explicado antes a los grupos (icono recordar). Sin embargo, el icono "navega", aparecía pulsado por defecto, ya fuese al comienzo de la lección, al avanzar o al retroceder por las páginas del SCORM, de manera que fuese posible discriminar por los registros de la base de datos cuándo el profesor estaba explicando o simplemente pasando páginas hasta llegar a la que quería emplear para apoyar sus explicaciones. También era posible registrar manualmente al profesor si estaba realizando apoyos individuales (icono solo), pero esta opción no se empleó desde un punto de vista práctico, ya que podía estar desplazándose por el aula y estar lejos de su mesa, donde estaba el portátil con acceso al panel de control. Asimismo, encontramos una serie de menús desplegables junto a los botones circulares descritos, que permiten hacer anotaciones rápidas de comentarios sobre observaciones en el aula (v.g., sobre el clima de aula), así como escribir comentarios mediante teclado en una caja de texto. Estos, se registraban en la base de datos solamente si pulsaba el botón interactivo "enviar". Se usaron de manera testimonial, debido a que distraían en exceso al profesor en sus labores docentes. La máxima granularidad del sistema era de 1 Hz.

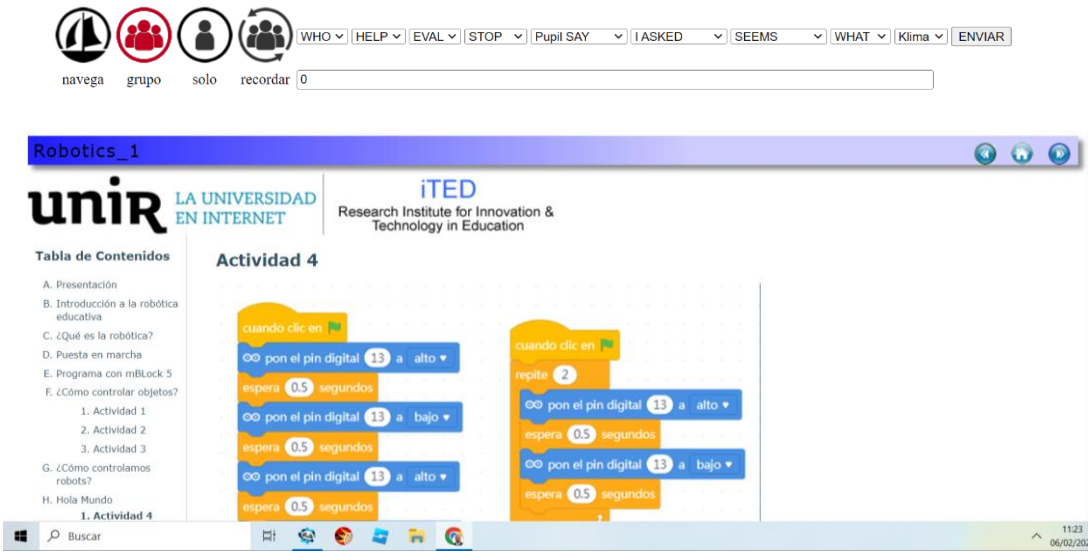


Figura 3.7. Captura de pantalla de la herramienta Panel de Control. Elaboración propia.

6.2.13. Sistemas de registro de parámetros HRV basados en fotopletismografía (descartados).

Durante febrero de 2021, desarrollamos un primer sistema de fotopletismografía para medición del ritmo cardiaco y monitoreo de la posición del ratón del ordenador del alumnado. A fin de poder dar cualquier tipo de uso al desarrollo, se optó por un sistema basado en hardware y software libre. Ello se materializó a través de una aplicación en Python (Python Software Foundation, 2021a) que se comunicaba a través del puerto serie de un portátil y una Placa Arduino UNO (Banzi et al., 2021) con un fotopletismógrafo DFRobot SEN0203 insertado en una placa *sensor shield* (Figura 3.8).

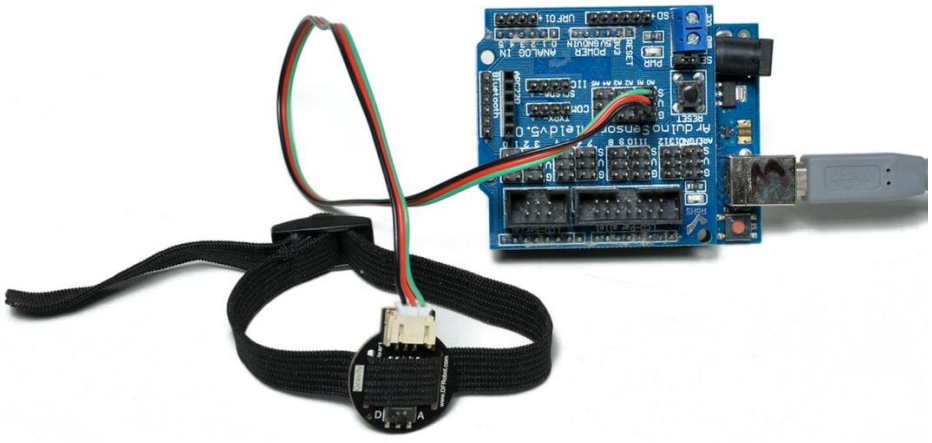


Figura 3.8. Sistema sensor del ritmo cardiaco basado en fotopletismografía utilizado. Está compuesto por un Arduino Uno (al fondo) y sensor DFRobot SEN0203 (primer plano). Elaboración propia

Ello requirió del uso de las librerías serial (Python Software Foundation, 2021), pynput v.1.7.3 (Palmér, 2021) y theading v.3.7. (Python Software Foundation, 2021), que registraban en archivos CSV con una frecuencia de 1 Hz el ritmo cardiaco y los movimientos del ratón del alumnado a 5 Hz. Además, para acceder al fotopletismógrafo SEN0203, se instaló en la placa Arduino el firmware desarrollado por Feng (2015), bajo licencia GNU-LGPLv3, con velocidad del puerto serie configurada a 115200 baudios.

Sin embargo, el dispositivo fotopletismográfico debía sujetarse con una banda elástica a la muñeca de cada participante y, a su vez, se conectaba al ordenador mediante un cable USB, dificultando su movilidad. Además, cuando una persona movía el brazo en el que se colocaba el sensor, se dejaban de recibir datos del ritmo cardiaco durante unos segundos. Por estos inconvenientes, dejaron de considerarse sensores conectados mediante cables.

No obstante, en otro desarrollo, comparamos las medidas del ritmo cardiaco de una persona en reposo, obtenido con los relojes inteligentes Lemfo Lem T (S.O. Android 7.1.1, chip MediaTek MTK6739 quad-core @ 1.25 GHz, Pantalla TFT IPS 2.86", 1 Gb RAM, 16 Gb ROM), con respecto las obtenidas mediante bandas deportivas Polar H10, consideradas como patrón oro en electrocardiografía ponible (Gilgen-Ammann et al., 2019). Para ello, se pusieron ambos sistemas a la misma persona, registrando también su ritmo cardiaco con la banda Polar H10 a 1Hz con un móvil de gama media Xiaomi Redmi Note 11, mediante la aplicación Polar Flow, recomendada por el fabricante. En el Anexo 10, encontrarán los resultados de estas pruebas, donde se evidencia la baja confiabilidad de las medidas del fotopletismógrafo, frente a la banda deportiva Polar H10, basada en electrocardiología ponible de consumo. Por consiguiente, descartamos definitivamente el uso de fotopletismografía en adelante.

En cambio, consideramos que versiones más potentes de este reloj, como los TicWris Max (S.O. Android 7.1.1, chip MTK6739 quad-core @ 1.25 GHz, Pantalla TFT IPS 2.86", 3 Gb RAM, 32 Gb ROM) siguen siendo atractivas como sistema receptor, conectándose a bandas deportivas Polar H10, por lo que se decidió adoptar esta tecnología como base para los desarrollos futuros, optimizando la relación coste-precisión de los dispositivos. Se ilustran en el siguiente apartado.

6.2.14. Sistemas de registro de datos, filtrado y extracción de parámetros basados en electrocardiografía ponible para los grupos de control.

En vista de que la fotopletismografía con dispositivos económicos no resultaba suficientemente precisa para registrar parámetros cardiacos, se optó por usar como base de los desarrollos relojes TicWris Max y bandas deportivas Polar H10, ya que se consideran un patrón oro en electrocardiología ponible (Gilgen-Ammann et al., 2019) y son apropiadas para investigaciones donde participan niños (Speer et al., 2020). Así, durante marzo de 2022, se desarrollaron 4 versiones de una aplicación específicamente adaptada para estos dispositivos en Kotlin (Kotlin Foundation, 2021) con Android Studio (Bumblebee v. 2021.1.1). La aplicación era capaz de acceder al acelerómetro del reloj, sus botones interactivos de pantalla, su tarjeta SD y, mediante Bluetooth, en combinación con una librería denominada Polar SDK v. 3.3.6 (Oikarinen et al., 2016), a los datos electrocadiológicos generados por la banda deportiva. La librería Polar SDK, además, permite incluso obtener electrocardiogramas de las bandas deportivas Pola H10, a lo cual

renunciamos, por consideraciones éticas. Las características técnicas de las bandas Polar H10, según su manual de usuario, son las siguientes:

- Registro de electrocardiograma con un solo electrodo.
- Impedancia de entrada = 2 MΩ (con la banda elástica húmeda).
- Ancho de banda = 0.7 - 40 Hz (con la banda elástica húmeda).
- Rango de entrada dinámica = ± 20 000 μV.
- Tasa de muestreo = 130 Hz ± 2 % (a temperatura ambiente de entre +20 y +40 °C).

En la Figura 3.9, mostramos el conjunto compuesto por la banda deportiva y el reloj inteligente.

Figura 3.9. Aplicación Polar H10 SDK UNIR-iTED funcionando sobre un reloj Lemfo Lem T y su banda deportiva Polar H10 asociada. Elaboración propia.

Además, todas las versiones de la app se desarrollaron íntegramente con Android Studio en un Mac Mini con sistema operativo OS X 10.7.5, debido a que permite instalar directamente las aplicaciones en los relojes inteligentes sin necesidad de drivers, a través de su interfaz de carga magnética. En este sentido, informamos de que, a fecha de desarrollo de estos sistemas, el fabricante de los relojes inteligentes no aportaba los drivers necesarios para trabajar con Windows. Dicha aplicación requiere que la versión mínima de Android sea la 21, lo cual se especifica en la configuración de gradle. Asimismo, en el archivo Manifest, se requiere habilitar acceso a sensores corporales, bluetooth y tarjeta SD. Además, se tienen que habilitar permisos especiales para acceso a sensores en las opciones de configuración de la aplicación, una vez instalada en el reloj. Para concluir, se han de configurar las opciones de energía de cada reloj para que la pantalla no se apague durante el tiempo en el que la aplicación esté activa, hasta el tiempo máximo permitido por el sistema (30 minutos). También se cambió el fondo de pantalla de cada reloj por un número que la ocupaba por completo, identificándolos así del 1 al 15. Finalmente, ya que Kuusela (2013) considera adecuada una frecuencia de muestreo de 200 Hz para usos médicos y Shaffer, McCraty, & Zerr (2014) estiman adecuada una frecuencia de muestreo de 126 Hz para bio-retroalimentación, no se modificó la configuración por defecto de la librería Polar H10, que es de 130 Hz.

Asimismo, denominamos a estas aplicaciones en Kotlin con el nombre genérico "Polar H10 SDK UNIR-iTED", dando el crédito correspondiente a los desarrolladores de la librería. Cada aplicación se instaló de manera personalizada en cada dispositivo, para conectarse

únicamente a una banda Polar H10 concreta, por medio del número de serie que la identifica para emparejarse por medio de bluetooth. Este se introdujo como variable en el código fuente, antes de cada instalación. De ese modo, se buscaba no cometer errores de emparejamiento de sensores con relojes y la persona que los portase.

Por otra parte, la V4 de nuestra aplicación contenía en su pantalla un primer botón interactivo en azul con el número de serie de la banda polar H10 a la que pudiera emparejarse. Al ser pulsado, cambiaba a un color rojo, si se verificaba el emparejamiento, y comenzaba a registrar datos en la tarjeta SD, en forma de archivos CSV. Debajo del botón de activación, colocamos una imagen con el nombre de la app y, al pie de la pantalla, otros dos botones interactivos que producían un parpadeo al ser pulsados para registrar discrecionalmente si el alumnado pide ayuda o ha terminado su tarea, respectivamente, como se muestra en la Figura 3.10.

Figura 3.10. Detalle del reloj inteligente con la aplicación Polar H10 SDK UNIR-iTED. *Elaboración propia.*

La organizaban interna de los archivos CSV que se guardaban en la tarjeta SD de cada reloj, contenían dos tipos de líneas de datos, separados por comas; líneas cardiacas y líneas de acelerómetro. Las líneas denominadas como líneas cardiacas se registraban con una frecuencia de 1 Hz, conteniendo los intervalos entre ondas electrocardiográficas R en milisegundos, el ritmo cardiaco en pulsaciones por minuto de los participantes, el instante en milisegundos (expresado como tiempo Universal Unix), así como el número de veces que se pulsan dos botones interactivos (Ayuda y Terminé). Las líneas de datos del acelerómetro, en cambio, se registraban cada 5 Hz, por ser la mayor resolución temporal que ofrece el dispositivo, conteniendo valores de las aceleraciones en 3 ejes y el tiempo en milisegundos en el que se generaban. No obstante, los datos del acelerómetro resultaron en la práctica poco confiables para el alumnado de Primaria (no así para el profesor), ya que observamos durante las sesiones que podían quitárselos, rascarse la muñeca tras tenerlos puestos algún tiempo, cambiárselos de mano, apretar o soltar la correa, o simplemente, podían quedarles grandes a quienes tenían las muñecas más finas. Sin embargo, los relojes pueden registrar datos de las bandas deportivas, incluso a 5 metros de distancia de las mismas, por lo que no es imprescindible llevarlos sobre la muñeca para registrar parámetros HRV.

Una vez acabadas las sesiones, se descargaban los archivos CSV generados en la tarjeta SD mediante conexión USB en el equipo informático descrito, por sesiones.

Posteriormente, se extrajeron únicamente los datos cardiacos registrados por medio de una aplicación sencilla en Jupyter Notebook, especialmente programada, para convertirlos en archivos CSV.

No obstante, antes de realizar estudios de variabilidad del ritmo cardiaco en los dominios temporal, de las frecuencias y no lineal, es necesario filtrar la señal, detendenciar las series temporales de las señales y eliminar artefactos, como latidos adicionales, faltantes o no alineados, que producen medidas distorsionadas de dicha variabilidad (Shaffer & Ginsberg, 2017; Seppälä, et al., 2014; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014). Puesto que existen antecedentes de trabajos académicos donde se emplea una combinación de Kubios y bandas deportivas de electrocardiografía ponible de precisión (v.g., Chin & Kales, 2019; Naranjo et al., 2015), con excelentes resultados, capaces de filtrar las señales, optamos por emplear una versión premium del software Kubios 3.5.0 (Tarvainen, Ranta-Aho, & Karjalainen, 2002; Niskanen et al., 2004; Tarvainen et al., 2002; Tarvainen et al., 2014). En la figura 3.14, mostramos la combinación de dispositivos de registro descritos. Además, Kubios 3.5.0 permite extraer múltiples parámetros cardiacos en formato CSV, separar los registros por tramos temporales y generar informes.

Considerando lo anterior, los datos fueron filtrados con Kubios 3.5.0, encontrando que no más del 1% de los conjuntos de datos necesitaron corrección. Además, a fin de hacer comparables los parámetros cardiacos, se configuró este software para dividir los registros de cada participante en el estudio en tramos de 5 minutos, conforme a la norma electrocardiológica para niños expuesta en Seppälä et al. (2014). Dichos parámetros, junto a sus gráficas correspondientes, son analizados desde el dominio de los tiempos, el dominio de las frecuencias y mediante técnicas no lineales. Finalmente, los parámetros cardiacos calculados con Kukios 3.5.0, para cada participante y sesión, se exportaron en tandas de 5 minutos en archivos CSV, para su posterior análisis con Excel, SPSS o Python, en función del grado de tipo de tratamiento necesario. Todos estos parámetros y la configuración de Kubios se recogen en los Anexos 11 y 12, respectivamente.

6.2.15. Selección de participantes del primer ciclo de Investigación-Acción.

Los participantes en la investigación son grupos escolares completos de 5º y 6º de Educación Primaria del CEIP Natalio Rivas de Huéscar (Granada-España). Este centro se eligió por su idoneidad legal, al ser el investigador principal maestro en excedencia y pertenecer a sus órganos representativos, como padre de una alumna. Por otra parte, el profesor es investigador-participante y se seleccionó por ser el ponente de esta tesis.

Se excluyeron de la investigación, además de a quienes no tuviesen consentimiento informado o decidiesen abandonar la investigación voluntariamente, al alumnado repetidor, temporero o ausentista. También a quienes, por tener una caja torácica muy pequeña, fuese imposible que llevasen puestas las bandas deportivas Polar H10 correctamente ajustadas. Asimismo, estaba previsto que no formase parte de la muestra el alumnado con dolencias cardio-respiratorias declaradas o dificultades diagnosticadas por el equipo de orientación educativa para comprender los cuestionarios, lo cual no tuvo lugar.

También es importante indicar que, por llevarse a cabo la investigación en dos cursos académicos distintos, el alumnado que comenzó siendo grupo de control estudiando diseño

gráfico en 5º, pasó a formar el grupo experimental de 6º que trabajó robótica. Ello permite considerar su análisis longitudinalmente.

Concretamente, en cada uno de los grupos de control, se asignaron bandas deportivas y relojes a 14 alumnos y alumnas, según se establece en la tabla 3.2. El profesor también lleva una. El grupo de control de 5º curso se identificará de aquí en adelante como N5_1, mientras que en el de 6º, emplearemos las siglas N6_1. En dicha nomenclatura, la N hace referencia al colegio, le sigue el curso de referencia, un guion bajo y un 1, que identifica a los grupos de control, es decir, los que participan en el primer ciclo de Investigación-Acción.

Tabla 3.2. Resumen de participantes por edades en los grupos de control. Elaboración propia.

GRUPO	N	Niños	Niñas	Edad Media	Desv. Est.	Fecha	Dejan de llevar reloj
N5_1	14	7	7	10.80	0.44	19/04/2022	0
N6_1	14	8	6	11.82	0.31	18/04/2022	0

6.2.16. Cronograma de actuaciones y secuencia instruccional.

Las 9 sesiones de clase llevadas a cabo con cada uno de los grupos de control tuvieron lugar entre el 18/04/2022 y el 26/05/2022, a razón de dos sesiones semanales. El tiempo máximo dedicado a cada sesión fue de una hora, incluyendo el protocolo de colocación de dispositivos fisiológicos, la docencia y la respuesta a los cuestionarios de flow. En la tabla 3.3 se recoge por grupos el número de sesión y la secuencia instruccional estudiada mediante los diseños en SCORM proyectados la pizarra digital del aula. En dicha tabla, se usan unos códigos que permiten identificar las pantallas de los contenidos en SCORM mostradas al comienzo y fin de cada sesión. Se usan las siglas 2D para denotar que se imparten temáticas de diseño gráfico en 2D, 3D para contenidos de diseño gráfico en 3D y R, para contenidos de robótica educativa. A continuación del guion bajo, se añade el módulo en SCORM que se imparte, que se corresponde con el nivel de elaboración según la Teoría de Reigeluth & Stein (1983). Se completa la nomenclatura con el número de la página HTML del SCORM visualizado.

Tabla 3.3. Resumen de secuencias instruccionales por temáticas para los grupos de 5º y 6º curso de Educación Primaria. Elaboración propia.

	GRUPOS DE QUINTO CURSO		GRUPOS DE SEXTO CURSO	
SESIÓN	**INICIO SCORM**	**FIN SCORM**	**INICIO SCORM**	**FIN SCORM**
1	2D_1_02	2D_1_04	R_1_02	R_1_07
2	2D_1_05	2D_1_08	R_1_08	R_1_11
3	2D_1_09	2D_1_09	R_1_11	R_1_15
4	2D_1_10	2D_1_10	R_1_16	R_1_21

5	REPASO: 2D_1_10	2D_1_12	R_1_22	R_1_22
6	2D_2_02	2D_2_03	R_2_03	R_2_12
7	2D_2_05	2D_2_08	REPASO: R_2_11 + R_2_12	R_2_14
8	3D_2_02	3D_2_05	R_2_15	R_2_17
9	3D_2_07	3D_2_07	R_4_03	R_4_03

Los diseños instruccionales propuestos, favorecen un estilo de aprendizaje Activo-Visual-Sensitivo-Secuencial, según el test Felder y Silverman (1988). Esto significa que, comenzamos proponiendo ejemplos sencillos paso a paso, personalizamos los ejemplos, continuamos con retos más abiertos y terminamos elaborando pequeños proyectos tutorizados. Esto lo justificamos, bajo el supuesto de que el alumnado se encuentra en el periodo madurativo de las operaciones concretas de Piaget (c.f. Piaget & Inhelder, 2016).

Debemos indicar, para terminar de describir la tabla 3.3, que los grupos de 5º curso siguen un programa formativo centrado en diseño gráfico 2D y 3D. Concretamente, entre las sesiones 1 y 2, realizamos un dibujo abstracto con MS Paint, entre las sesiones 3 y 5, aprendemos a usar herramientas vectoriales con Fireworks 4, y entre las sesiones 6 y 7, realizamos viñetas de cómic en modo ráster con Fireworks 4. En cambio, en las sesiones 8 y 9, reconstruimos a escala cómo era Huéscar a principios de la Edad Moderna, con Roblox Studio.

Con los grupos de 6º, trabajamos contenidos de robótica educativa con Arduino (Banzi, et al., 2021) y diseño de juegos sencillos con mBlock5 (ICP, 2023), el cual se basa en Scratch (Maloney et al., 2010). Se trata de un conocido sistema de programación con bloques, el cual es compatible con las recomendaciones de los currículos oficiales de Primaria y Secundaria en Andalucía (c.f. Pensamiento computacional en la Orden de 30 de mayo de 2023 del currículo en Enseñanza Primaria; c.f. asignatura de Computación y robótica en la Orden de 30 de mayo de 2023 del currículo de Enseñanza Secundaria). Es por ello que, entre las sesiones 1 y 5, nos familiarizamos con el entorno de programación de mBlock5, los objetos y dispositivos. También se realizan juegos sencillos y se superan retos que requieran emplear en su mayor grado de dificultad eventos, una variable, un bucle y una toma de decisiones dicotómica. Entre las sesiones 6 y 8, profundizamos en contenidos de robótica, aprendiendo a controlar servos y LED RGB, con tarjetas protoboard, pines digitales y PWM. Finalizamos el curso desarrollando proyectos artísticos sencillos que precisen luz y/o movimiento, por medio de LED y servos.

6.2.17. Desarrollo de las sesiones de clase.

Esta investigación se inició cuando en los centros escolares era necesario seguir protocolos COVID. Por consiguiente, los dispositivos electrónicos (portátiles, relojes, etc.) debían colocarse en las mesas del alumnado, desinfectarse después de su uso y guardarse en un armario de carga tras cada sesión de clase, cuya una duración máxima era de una hora. Además, cada participante usaba siempre el mismo ordenador portátil y ratón, ocupando el mismo lugar en el aula, con las mesas formando filas paralelas, orientadas hacia la pantalla

de proyección del profesor. Asimismo, existían zonas de paso que permitían el desplazamiento del profesor por el aula.

El profesor-investigador llegaba a las 9 horas al aula específica donde tenían lugar las clases, para la que se adquirieron por parte del centro 25 portátiles nuevos idénticos que se guardaban en un mueble de carga. A su llegada al aula, comprobaba el perfecto funcionamiento de cada ordenador portátil, de las aplicaciones y archivos necesarios para la lección, limpieza, actualización, cierre y nivel de carga del equipo. Durante las lecciones, también estaba presente el tutor o tutora del grupo-clase en cuestión.

Todas las sesiones lectivas tenían lugar entre las 10 y las 12 horas de la mañana, antes del recreo y sin que, previamente, hubiese clase de educación física, para asegurar condiciones de reposo previas del alumnado. Igualmente, antes de comenzar las sesiones lectivas, el alumnado permanecía en reposo 10 minutos en su silla, con las bandas deportivas colocadas de acuerdo al protocolo descrito en el apartado sobre consideraciones éticas.

Para el desarrollo de las clases, el investigador-participante proyectaba sobre una pantalla el panel de control con los contenidos en SCORM programados para la sesión, así como el contenido del escritorio y aplicaciones que estaba usando. También queremos poner de manifiesto que minimizamos el uso de Internet en lo posible.

La figura 3.11 muestra al alumnado de 5º curso practicando actividades de diseño gráfico 3D con Roblox Studio, al que se accedía desde archivos en el escritorio y un entorno de desarrollo actualizado por el profesor e instalado en los portátiles, con usuarios y contraseñas desconocidas por el alumnado. Recomendamos encarecidamente, por ser de interés general, que **nunca** se acceda directamente desde la web de Roblox o Roblox Player con posibles cuentas del alumnado, y, en cualquier caso, estén acompañados por adultos responsables, **siempre**. Ello se refuerza con contenidos de alfabetización digital y uso seguro de la tecnología, que se recuerdan a diario.

Figura 3.11. Alumnado de 5º curso trabajando contenidos de Roblox Studio. Elaboración propia.

En cambio, el grupo de sexto realizó proyectos de robótica educativa artística, así como de diseño de juegos sencillos con versiones de escritorio de mBlock5 y Arduino UNO. El objetivo final de los proyectos STEAM, era crear obras artísticas interactivas sencillas con servos y LEDs (Figura 3.12).

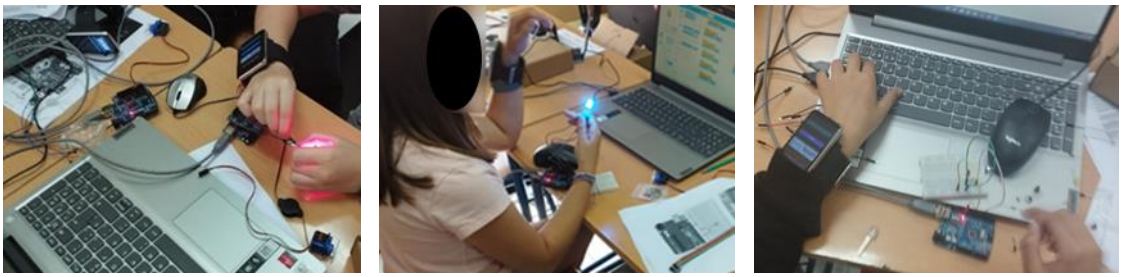


Figura 3.12. Alumnado de sexto curso trabajando contenidos de robótica con los relojes activados. Elaboración propia.

Finalmente, dejábamos al menos 5 minutos para responder a los cuestionarios FKS y EduFlow en papel, mientras el profesor aclaraba las dudas que pudiesen surgir. Tras ello, el profesor también respondía sus cuestionarios, completaba el diario de la sesión y recogía el aula, siguiendo los protocolos COVID.

6.3. Resultados del primer ciclo de investigación-acción (grupos de control).

Este capítulo, trata sobre el primer ciclo de Investigación-Acción, donde trabajamos con los dos grupos de control. Para ello, contamos con una clase completa de estudiantes de 5º curso de Educación Primaria (grupo N5_1) y otra clase de 6º curso (grupo N6_1). Recordemos, sin embargo, que los grupos de 5º curso siguen un programa STEAM sobre diseño gráfico, mientras que los grupos de 6º, lo hacen sobre robótica educativa artística, durante 9 sesiones lectivas de una hora como máximo cada uno.

Además, vamos a mostrar los resultados experimentales encontrados, separándolos por fase metodológica (pretest y docencia), haciendo referencia a los instrumentos y herramientas de recogida de datos empleados.

Además, como veremos en el apartado 6.3.1, ha sido necesario validar estadísticamente en español y en nuestro contexto educativo las escalas EduFlow y FKS, así como sus dimensiones, puesto que se presentaron originalmente en otros idiomas y se validaron con participantes adultos.

Por consideraciones organizativas y éticas, no se muestran parámetros fisiológicos individuales del alumnado, dejando para los anexos los datos de partida que sea posible.

6.3.1. Validación de las escalas FKS y EduFlow y de sus dimensiones.

En esta sección, pretendemos validar estadísticamente los cuestionarios EduFlow (Heutte et al., 2014) y FKS (Engeser & Rheinberg, 2008), a lo largo de las 18 sesiones de trabajo investigadas. Aquí describimos el proceso seguido y los resultados que obtuvimos.

En primer lugar, los cuestionarios EduFlow y FKS, fueron traducidos por dos psicólogas docentes de francés e inglés, respectivamente. Después, se enviaron a intérpretes de la Escuela Oficial de Idiomas y devueltos a las psicólogas. Del test FKS se eliminaron los ítems FKS2 y FKS8, a propuesta de Andersen (2016). A continuación, dichos test se fisionaron en el ismo cuestionario, uno seguido del otro, y se les añadió un aviso sobre la voluntariedad de la participación en las acciones formativas y en la investigación, así como sobre el derecho a no contestar o solicitar la eliminación de los datos recopilados. Asimismo, los cuestionarios contenían instrucciones para anonimizarlos.

Posteriormente, tras recabar consentimientos informados para la participación en acciones formativas aprobadas por el claustro de profesorado, se informó a la Fiscalía de Menores y se otorgó autorización por parte del Comité de Ética de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). También hay que indicar que las pruebas se contestaron en presencia de una especialista en Educación Especial y del docente, máster especializado en investigación educativa y graduado en Primaria, después de una breve explicación de los mismos. Además, aclaraban dudas que pudieran surgir y anotaban en un diario de clase las dificultades encontradas. Debemos indicar igualmente que, los participantes, no recibieron premios de ninguna clase.

Por otra parte, es necesario poner de manifiesto que los test EduFLow y FKS fueron contestados por dos grupos de escolares en formato papel 218 veces. Posteriormente, fueron descartados los no completos o erróneos, quedando 191 disponibles para su análisis, tras pasar su contenido a una base de datos digital (87,6% de respuestas válidas). Dichos cuestionarios fueron contestados por el alumnado entre el 18/04/2022 y el 30/05/2022, tras participar en 18 sesiones de una hora de clase siguiendo metodología STEAM, en horario lectivo, entre las 10 de la mañana y la salida al recreo (11:30).

En cuanto a la descripción estadística de los 30 participantes del estudio, consta que fueron 17 niños y 13 niñas de dos clases de 5º y 6º de Educación Primaria del mismo colegio de Huéscar (Granada), de una sola línea, por lo que corresponden al tercer ciclo completo, salvo los que cumplen ciertos criterios de exclusión. Concretamente, se excluyó al alumnado con altas tasas de ausentismo o que no prestase consentimiento informado paterno. Como se aprecia en la tabla 3.4 (ver apartado 6.2.15), existe un año de diferencia de edad media entre los grupos, mientras que la media de edad de todos los participantes es de 11.24 ± 0.39 años al inicio de las sesiones.

A continuación, realizamos un estudio previo de normalidad, confiabilidad, correlaciones y componentes principales de las escalas EduFow y FKS. Por ello, debemos recordar que dichos cuestionarios se contestan por medio de escalas de Likert de 7 puntos. La primera contiene 12 ítems repartidos equitativamente en 4 dimensiones (c.f. Heutte et al., 2014), mientras que la FKS (c.f. Engeser & Rheinberg, 2008), contiene 13 ítems, de los cuales 2 son eliminados, a instancias de los trabajos de Andersen (2016). Por consiguiente, las tareas inmediatas que vamos a abordar son:

- Conocer los estadísticos descriptivos de las respuestas a las escalas FKS y EduFLow.
- Estudiar sus distribuciones con test estadísticos (Kolmogorov-Smirnov o Shapiro-Wilk) y con histogramas de frecuencias.
- Determinar la cohesión interna por medio de α-Cronbach.
- Confirmar que los factores de las escalas definidas por Engeser & Rheinberg (2008) y Heutte et al. (2014) contienen los mismos ítems, antes de utilizarlos para estudiar dimensionalmente los procesos investigados.

Con ello, podremos identificar qué tipo de pruebas estadísticas usar (paramétricas o no paramétricas) que llevaremos a cabo con SPSS. Además, deseamos conocer si existe correlación entre ambas escalas, para determinar si representan el mismo constructo. Para ello, se toman los cuestionarios completos de todas las sesiones y grupos.

Primeramente, obtuvimos histogramas de frecuencias de la escala FKS (Figura 3.13 superior), calculada como suma de sus ítems, donde se aprecia que no hay normalidad, aunque sí cierta tendencia, ya que las sumas de escala con valores 42 y 46 son mayores de lo esperado en una distribución gaussiana. En cambio, para la escala EduFlow (Figura 3.13 inferior), se aprecia claramente la no normalidad por el gráfico de la distribución de frecuencias.

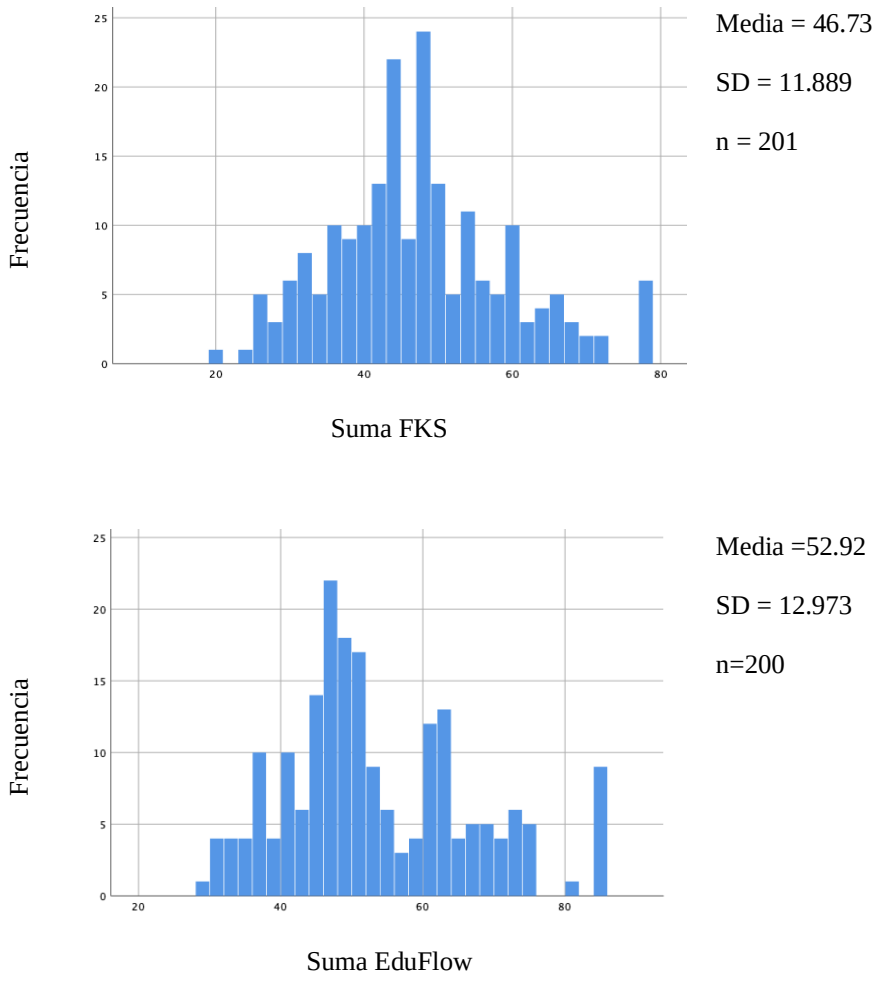


Figura 3.13. Distribución de frecuencias de la suma de ítems de las escalas FKS (arriba) y EduFLow (abajo). Elaboración propia.

Por otra parte, la prueba de Kolmogorov-Smirnov indica que no hay normalidad en las distribuciones. Se toma frente a Shapiro-Wilk, por haber más de 50 muestras. De ella se deduce que deben hacerse pruebas no paramétricas en lo sucesivo, cuando se tomen como referencia a todos los participantes (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Resultado de las pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para las escalas EduFlow y FKS, expresadas como sumas de sus ítems. Elaboración propia

Pruebas de normalidad						
Parámetro	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Suma FKS	0.079	190	0.006	0.981	190	0.012
Suma EduFlow	0.129	190	0.000	0.963	190	0.000
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Asimismo, los α-Cronbach no mejoran al eliminar ítems de ninguno de los cuestionarios, tal como podemos ver en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Cohesión interna de los ítems de los cuestionarios EduFlow y FKS, determinada mediante α-Cronbach. Elaboración propia

Escala	α-Cronbach	α-Cronbach basada en elementos estandarizados	Elementos (n)
EduFlow	0.824	0.827	12
FKS	0.813	0.812	11

Seguidamente, realizamos un gráfico de dispersión para conocer las correlaciones entre las escalas FKS y EduFlow de todos los participantes juntos (Figura 3.14). En ella se aprecia una clara correlación, aunque con cierta dispersión en la nube de puntos.

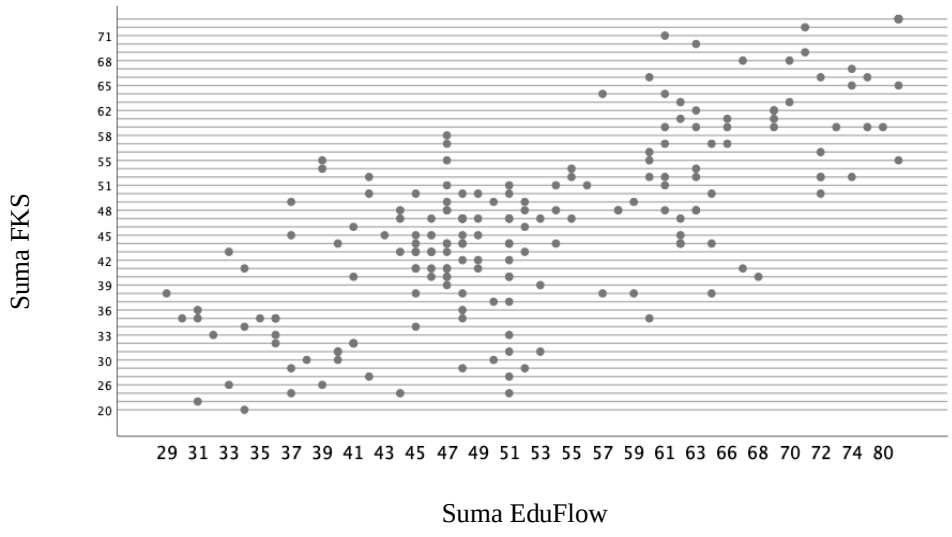


Figura 3.14. Gráfico de dispersión de las escalas EduFlow y FKS, medidas como suma de sus puntuaciones. Elaboración propia

Para concluir, se determinan las correlaciones paramétricas (tabla 3.6) y no paramétricas (tabla 3.7), considerando los estadísticos Tau-b de Kendall, Rho de Spearman y coeficiente de correlación de Pearson, entre las escalas EduFLow y FKS.

Tabla 3.6. Correlación de Pearson entre las escalas EduFlow y FKS, y su nivel de significatividad. Elaboración propia

Correlaciones paramétricas			
		Suma FKS	Suma EduFlow
Suma FKS	Correlación de Pearson	1	0.756**
	Sig. (bilateral)		0.000
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	28271.493	22122.726
	Covarianza	141,357	117.051
	N	201	190
Suma Eduflow	Correlación de Pearson	0.756**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	Suma de cuadrados y productos vectoriales	22122.726	33490.720
	Covarianza	117.051	168.295
	N	190	200
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).			

Tabla 3.7. Correlaciones no paramétricas entre las escalas EduFlow y FKS, y su nivel de signifiatividad, por medio de los estadísticos Tau-b de Kendall y Rho de Spearman. Elaboración propia

Correlaciones no paramétricas				
			Suma FKS	Suma EduFlow
Tau_b de Kendall	Suma FKS	Coeficiente de correlación	1.000	0.518**
		Sig. (bilateral)	.	0.000
		N	201	190
	Suma EduFlow	Coeficiente de correlación	0.518**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	.
		N	190	200
Rho de Spearman	Suma FKS	Coeficiente de correlación	1,000	0.692**
		Sig. (bilateral)	.	0.000
		N	201	190
	Suma EduFlow	Coeficiente de correlación	0.692**	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	.
		N	190	200
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

Por consiguiente, las correlaciones son significativas y altas, considerando Tau-b de Kendall, Rho de Spearman y coeficiente de correlación de Pearson, por lo que FKS y EduFlow, se refieren al mismo constructo, describiéndolo con distintas dimensiones.

A continuación, comprobaremos si las escalas EduFLow y FKS se descomponen en nuestro estudio en los mismos factores que Heutte et al. (2014) y FKS (Engeser & Rheinberg, 2008), exponen en sus trabajos. Por ello, vamos a realizar un Análisis de Componentes Principales

(ACP) con rotación Varimax para todas las escalas, tal y como se realizó en los trabajos de referencia.

Para empezar, con todos los cuestionarios EduFLow en su conjunto, hemos llevado a cabo un ACP con rotación Varimax. En este sentido, la prueba KMO arroja un valor de 0.813, lo cual demuestra que la relación entre variables es notable, mientras que la prueba de esfericidad de Bartlett basada en correlaciones (χ^2 =782.082, p. < 0.001) es congruente en la aplicabilidad del ACP a los datos.

Posteriormente, comprobamos que son 3 los factores a extraer en base al gráfico de sedimentación (Figura 3.15). Ante tales condiciones, la escala se explicaría por medio de 3 componentes.

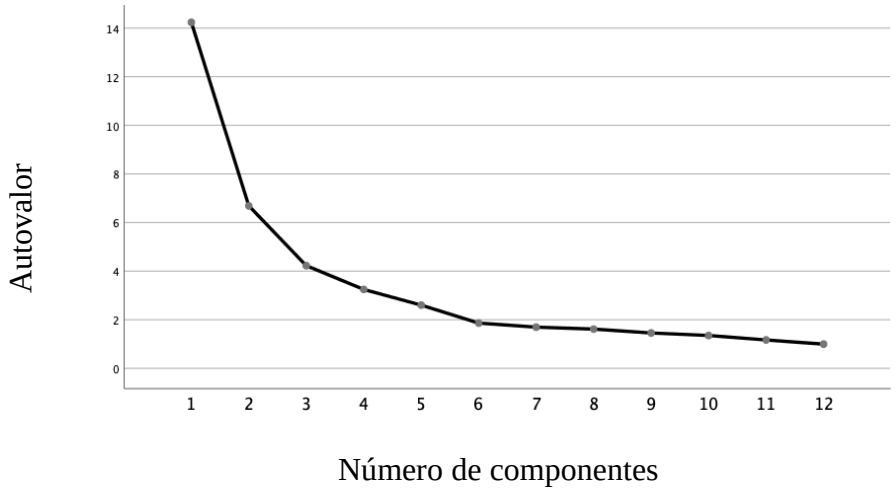


Figura 3.15. Gráfico de sedimentación de la escala EduFlow. *Elaboración propia*

Por el contrario, si se fuerza a extraer 4 componentes (tabla 3.8), para obtener el mismo número que Heutte et al. (2014), no hay coincidencia total entre ítems y factores extraídos con respecto a nuestra prueba, salvo en los de las dimensiones D1 (absortamiento) y D3 (pérdida de autoconciencia). Por ello, cuando se realicen cálculos donde se requieran los factores de la escala EduFlow, solamente confiaremos en estas dimensiones. En la tabla 3.8, usamos bandas alternantes en azul y blanco para señalar los ítems que constituyen cada una de las 4 dimensiones del *flow* verificadas. En color verde, señalamos los factores de escala de mayor magnitud para cada ítem del cuestionario, tras un reescalado. Ello permite identificar fácilmente cada ítem del cuestionario con el factor al que se asigna.

Tabla 3.8. Resultados de un ACP de 4 factores para la escala EduFLow. *Elaboración propia*

Matriz de componente rotado[a]								
Ítems EduFLow	Componentes							
	Puros				Reescalados			
	1	2	3	4	1	2	3	4
D3a	1.797	0.217	0.182	0.042	0.891	0.108	0.090	0.021
D3c	1.776	0.186	0.174	0.138	0.886	0.093	0.087	0.069

D3b	1.322	0.062	0.576	0.367	0.712	0.033	0.310	0.198
D2b	0.431	1,661	-0.073	-0.265	0.219	0.843	-0.037	-0.135
D2a	0.177	1.187	0.000	0.879	0.099	0.666	0.000	0.493
D4b	-0.169	1.089	0.779	0.133	-0.098	0.630	0.450	0.077
D4c	0.273	1.082	0.648	0.467	0.150	0.595	0.357	0.257
D1a	0.111	0.133	1.479	0.021	0.064	0.077	0.855	0.012
D1b	0.389	0.220	1.181	0.363	0.218	0.123	0.661	0.203
D1c	0.418	0.196	0.820	0.230	0.280	0.131	0.549	0.154
D2c	0.473	0.114	0.399	1.837	0.227	0.055	0.191	0.881
D4a	-0.204	0.855	0.701	0.871	-0.109	0.457	0.375	0.466

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.[a]
a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.

Del mismo modo, empleando todos los cuestionarios FKS contestados por el alumnado de los grupos de control, se ha realizado un ACP tomando como criterios que la rotación sea Varimax y que los factores a extraer se basen en el gráfico de sedimentación. En ese caso, se obtuvieron 2 componentes, que no requieren ser descritos, pues carece de sentido práctico (Figura 3.16).

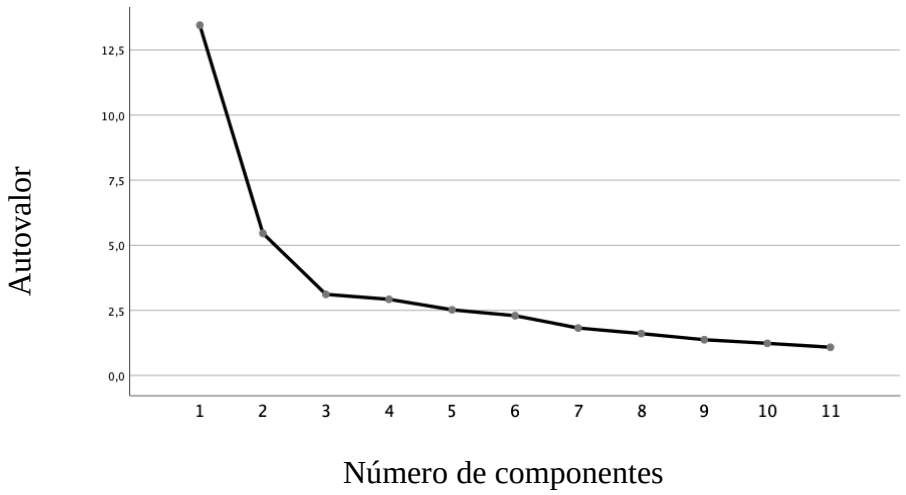


Figura 3.16. Gráfico de sedimentación de la escala FKS. Elaboración propia

En cambio, si se fuerza la extracción de 3 componentes, como aparece en los trabajos de Engeser & Rheinberg (2008), los ítems no concuerdan en las mismas dimensiones definidas por dichos autores para la escala FKS. Además, el factor 3 solo tiene un ítem que lo represente, lo cual no es adecuado psicométricamente (tabla 3.9). Por consiguiente, cuando necesitemos recurrir a esta escala, se tomará su puntuación global, pero no se hará un análisis por componentes. En la tabla 3.9 usamos los mismos códigos de colores empleados en la tabla 3.8.

Tabla 3.9. Resultados de un ACP de 4 factores para la escala FKS. *Elaboración propia*

Matriz de componente rotado[a]						
Ítems FKS	Componentes					
	Puros			Reescalados		
	1	2	3	1	2	3
FKS5	1.434	-0.028	0.050	0.804	-0.016	0.028
FKS3	1.519	0.362	0.075	0.746	0.178	0.037
FKS10	1.141	-0.140	0.498	0.675	-0.083	0.294
FKS6	1.003	0.512	-0.174	0.603	0.307	-0.105
FKS7	0.997	0.541	0.561	0.558	0.302	0.314
FKS13	0.108	1.678	-0.228	0.055	0.858	-0.116
FKS9	0.579	1.296	-0.022	0.327	0.730	-0.012
FKS11	-0.083	1.163	0.374	-0.047	0.664	0.214
FKS12	0.859	1.248	0.788	0.405	0.589	0.372
FKS4	0.172	0.990	0.599	0.095	0.545	0.330
FKS1	0.174	0.221	1.513	0.102	0.130	0.890
Método de extracción: análisis de componentes principales. Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser.[a] a. La rotación ha convergido en 4 iteraciones.						

Finalmente, la medida KMO (0.801) y la prueba de esfericidad de Bartlett (χ^2 = 633.011, p. < 0.001), confirman que es adecuado realizar un ACP con rotación Varimax a los datos del cuestionario FKS.

En resumen, es posible usar las puntuaciones totales de las escalas FKS y EduFlow en nuestro contexto, pero no todas sus dimensiones son igualmente confiables. En este sentido, encontramos confiables las dimensiones D1 (absortamiento cognitivo) y D3 (pérdida de autoconsciencia) de la escala EduFlow, pero no las de la escala FKS.

6.3.2. Resultados pretest: conocimientos iniciales, propensión al flow y estilo de aprendizaje en los grupos de control.

En este apartado, presentamos los resultados de las pruebas que se realizaron en la fase pretest con los dos grupos de control. Estas pruebas fueron los test de conocimientos que se adjuntan en los Anexos 9 y 10, las respuestas a la escala SFPQ (Anexo 6), con la que se determina la propensión a experimentar *flow*, así como un estudio del estilo de aprendizaje preferente, por medio del test de Felder (Anexo 7).

Con respecto a los conocimientos iniciales de ambos grupos y en las tres temáticas trabajadas (diseño 2D, diseño 3D con Roblox Studio y robótica educativa), solo podemos decir que, o bien los participantes entregaron en blanco las pruebas o, en los exiguos casos en donde se aventuraron a responder alguna pregunta (2), no obtuvieron aciertos y tampoco respondieron a todas las preguntas. Hay que señalar, también, que el profesor preguntó las razones por las que no contestaron, a lo que el alumnado respondió que le resultaban muy difíciles y que desconocían las materias. Esperado el tiempo previsto para el examen, se procedió a retirar los cuestionarios. Por consiguiente, los participantes no demostraron tener conocimientos iniciales en las materias que íbamos a impartir.

Seguidamente, mostramos de manera resumida en la tabla 3.10 los resultados obtenidos para el cuestionario sueco de propensión al *flow* (SFPQ) en los grupos de control (n=30). Recordemos que, en dicho test, se realizan las mismas 7 cuestiones, referidas a ámbitos distintos de la vida de los participantes (escuela, rutinas y ocio), contestadas con escalas Likert de 5 puntos, y que se obtiene como resultado un valor medio de la suma de los ítems. A fin de identificar personalidades no autotélicas, normalizamos en Z dichos valores, encontrando que solo un participante pudiera tener menor propensión a experimentar *flow*. Sin embargo, no se retiran sus datos del estudio, justamente debido a su interés científico para estudiosos de la Teoría Flow. Concretamente, 1N5_1 presenta valores que están dos desviaciones estándar por debajo de la media en la escala SFPQ.

Tabla 3.10. Resultados del test SFPQ en los grupos de control, con sus puntuaciones por ámbitos y medias (SFPQ score), así como su resultado normalizado en Z. *Elaboración propia*

ID	Escuela	Rutinas	Ocio	SFPQ Score	Z SFPQ Score
1N5_1	23.00	15.00	26.00	3.05	-2.01299
2N5_1	31.00	30.00	41.00	4.86	1.84254
3N5_1	21.00	25.00	32.00	3.71	-0.59253
4N5_1	26.00	25.00	31.00	3.90	-0.18669
5N5_1	24.00	26.00	39.00	4.24	0.52354
8N5_1	27.00	26.00	39.00	4.38	0.82793
9N5_1	24.00	23.00	39.00	4.10	0.21916
10N5_1	22.00	23.00	32.00	3.67	-0.69400
11N5_1	28.00	25.00	39.00	4.38	0.82793
12N5_1	23.00	21.00	34.00	3.71	-0.59253
13N5_1	23.00	19.00	33.00	3.57	-0.89692
15N5_1	23.00	17.00	28.00	3.24	-1.60715
1N6_1	27.00	28.00	36.00	4.33	0.72646
2N6_1	21.00	23.00	38.00	3.90	-0.18669
3N6_1	20.00	19.00	35.00	3.52	-0.99838
4N6_1	22.00	20.00	36.00	3.71	-0.59253
5N6_1	29.00	18.00	41.00	4.19	0.42208
7N6_1	21.00	17.00	36.00	3.52	-0.99838
8N6_1	32.00	26.00	39.00	4.62	1.33523
9N6_1	28.00	26.00	41.00	4.52	1.13231
10N6_1	26.00	27.00	41.00	4.48	1.03085
11N6_1	26.00	27.00	39.00	4.38	0.82793
12N6_1	30.00	26.00	38.00	4.48	1.03085
14N6_1	22.00	25.00	34.00	3.86	-0.28815
15N6_1	18.00	18.00	37.00	3.48	-1.09984

A partir de los resultados del test de Felder en los grupos de control, generamos cuatro gráficas (Figura 4.5). Ello permite computar dicotómicamente las puntuaciones de las dimensiones Activo-Reflexivo, Visual-Verbal, Sensitivo-Intuitivo y Secuencial-Global, con valores positivos para el primer parámetro de las gráficas y negativos para el segundo.

Debemos recordar que partimos de diseños instruccionales que favorecen un estilo de aprendizaje Activo-Visual-Sensitivo-Secuencial, puesto que suponemos que el alumnado se encuentra en el periodo madurativo de las operaciones concretas de Piaget (c.f. Piaget & Inhelder, 2016). En todos los gráficos de la Figura (3.17), se aprecia que los puntos experimentales están en la mitad superior de los mismos y que, en el caso de aparecer valores negativos (contrarios al diseño instruccional propuesto), no presentan guarismos muy extremos, que pudiesen significar especiales dificultades para adaptarse a otro estilo de aprendizaje. La homogeneidad del estilo de aprendizaje en niños y niñas de esta edad contrasta con los resultados que Ramírez y Rosas (2014) obtuvieron en estudiantes adultos, donde hay una mayor variabilidad de estilos de aprendizaje mostrados, pero respalda en este sentido la idoneidad del diseño instruccional elegido.

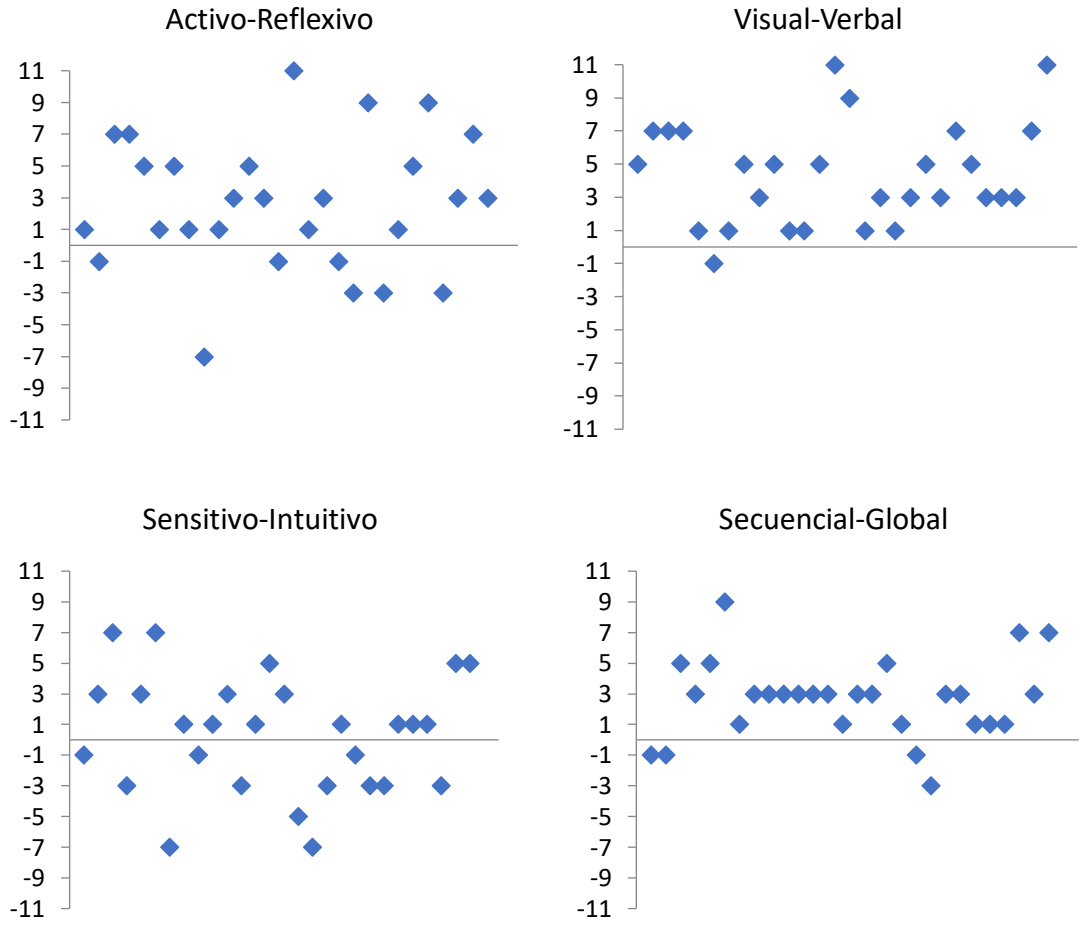


Figura 3.17. Resultados del Test de Felder en los grupos de control. Se exponen los resultados para las dimensiones Visual-Verbal, Secuencial-Global, Sensitivo-Intuitivo y Activo-Reflexivo, en el sentido de las agujas del reloj. Elaboración propia.

6.3.3. Resultados de los grupos de control en la fase de docencia.

Durante la fase de docencia, se emplearon cuestionarios EduFlow y FKS al final de cada sesión de clase, un diario del profesor y el panel de control, que registraba cada segundo la actividad en la que trabaja el grupo y la actitud del docente. También se registraron con los acelerómetros de los relojes los movimientos de los participantes. Sin embargo, se

revelaron poco útiles. Además, se extrajeron diversos parámetros cardiacos con Kubios, gracias a la aplicación Polar H10 SDK UNIR iTED V4, ya descrita. Dado que la cantidad de información es considerable, aquí ilustraremos los aspectos más destacados de los mismos.

6.3.3.1. Análisis del diario de clase en los grupos de control.

En el diario de clase, aparecen comentarios sobre asistencia del alumnado, las actividades que se desarrollan cada día y los sentimientos del profesor, así como de las opiniones manifestadas por el alumnado. De dicho diario se desprende que:

- El alumnado de los grupos de control parecía mostrarse más nervioso conforme avanzaban los diseños instruccionales, coincidiendo con la proximidad del verano y a la mala climatización de las aulas, junto con el lógico cansancio que se acumula al finalizar un curso escolar. Ello es contrastado con los tutores de los grupos, que opinan lo mismo.
- El alumnado apreciaba especialmente las clases y se sentía a gusto con el profesor.
- Existen faltas de asistencia injustificadas o no esperables, que hacen necesario comenzar algunas sesiones repitiendo actividades ya trabajadas. Ello tendrá repercusiones también en los grupos experimentales, que deberán repetir las mismas secuencias instruccionales que estos grupos de control, para que la comparación sea posible.
- El profesor refiere continuamente sensación de estrés y movimiento continuo por la clase para realizar apoyos individuales, pero también de satisfacción, por los progresos que observa en el alumnado.
- Parte de la sensación de estrés del profesor se debe a que es investigador participante. Por ello, espera obtener unos resultados académicos óptimos y completar su diseño instruccional. Otra parte, se debe también a que tiene que estar controlando el correcto funcionamiento de los sistemas de registro de datos, la colocación de dispositivos, el montaje y desmontaje del aula.

También, en el diario de clase, se señalan distintas estrategias que el docente aplica, de manera explícita y consciente, para modular los niveles de *flow* que observa en el aula:

- El efecto novedad es importante, ya que el contenido que trabaja es muy distinto de las asignaturas del colegio.
- El profesor cambia de actividades cuando intuye que el alumnado no desea continuar.
- El profesor ofrece apoyos individualizados cuando algún participante lo pide.
- Se permiten ayudas entre pares.
- El maestro se desplaza continuamente por el aula para evaluar los procesos didácticos y hacerse cercano a todos.
- El profesor adapta el ritmo de las explicaciones, por lo que, en los grupos de control, hay diferencias entre lo programado y lo efectivamente explicado.
- El profesor repite lo que no se entiende y comienza recordando en cada sesión lo visto en la anterior.
- El docente tiene en cuenta las faltas de asistencia del alumnado, para ampliar más o menos la explicación inicial.
- El estilo de enseñanza del profesor es adecuado a las preferencias mayoritarias, como se demuestra por medio de los tests de Felder.
- El docente hace un mantenimiento diario de los ordenadores y minimiza fallos informáticos.

- El profesor es valorado por los participantes, como se desprende de las entrevistas.
- El maestro intenta ser progresivo en la secuenciación de tareas.
- El profesor hace sentir importantes las tareas, como se verifica en las entrevistas.
- El alumnado mantiene expectativas de diversión, aprendizaje y utilidad.
- El alumnado trata de quedarse en el aula cuando termina la clase o prefiere no ir al recreo, cuando tiene oportunidad, lo cual permite el maestro, siempre que sea posible.
- El alumnado celebra con júbilo (y algo de ruido) la llegada del maestro.

Otra cuestión muy significativa reflejada en el diario de clase y que mencionamos aparte, es que **no se producen abandonos de los cursos**, más teniendo en cuenta que el alumnado es libre de dejarlos en el momento que quieran, sin dar explicaciones y sin que tenga repercusiones negativas.

6.3.3.2. Resumen de asistencia en los grupos de control.

En la tabla 3.11 se especifica la asistencia diaria del alumnado por temáticas en los grupos de control.

Tabla 3.11. Asistencia del alumnado que lleva reloj en los grupos de control.

Grupo N5_1 (solo diseño 2D)		
Veces que asisten	**Frecuencia**	**Porcentaje de asistencia**
5	4	28.57
6	2	14.29
7	8	57.14

Total (n) = 14

Grupo N5_1 (solo Roblox Studio)		
Veces que asisten	**Frecuencia**	**Porcentaje de asistencia**
2	15	100

Total (n) = 15

Grupo 6N_1 (Robótica)		
Veces que asisten	**Frecuencia**	**Porcentaje de asistencia**
4	1	7.69
6	1	7.69
7	4	30.77
8	5	38.46
9	2	15.38

Total (n) = 13

Grupo N5_1 (Diseño 2D y Roblox Studio)		
Veces que asisten	**Frecuencia**	**Porcentaje de asistencia**
7	4	28.57
8	2	14.29
9	8	57.14

Total (n) =14

No existen abandonos voluntarios de los cursos en los grupos de control. Esta cuestión suele considerarse una métrica importante en Analíticas de Aprendizaje (Banihashem et al., 2018; Hernández-de-Menéndez et al., 2022), la cual ofrece una dimensión muy positiva de la calidad de los cursos y de la implicación de los participantes.

6.3.3.3. Resultados grupales de las escalas FKS y EduFlow en los grupos de control.

También presentamos un resumen gráfico de la secuencia temporal sobre las respuestas grupales a las escalas FKS y EduFlow, para las tres temáticas trabajadas, por número de sesión y grupos, en la Figura 3.18. En todos los casos, se aprecia una tendencia decreciente en las puntuaciones medias de las escalas de *flow*, las cuales pudiesen estar afectadas por el "efecto novedad", que tuviesen en cuenta Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi (1992), ya identificado en el diario de clase. En cambio, en las sesiones finales, aparece correlación significativa entre la potencia de la banda espectral VLF media del ritmo cardiaco de los participantes y las escalas de *flow* medias de los grupos. Ello puede ser reflejo de un incremento en las necesidades de regulación térmica de los participantes (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014). Además, ya que el alumnado accede al aula sin haber disfrutado antes de recreos ni clases de educación física, esta necesidad mayor de regulación térmica debe atribuirse razonablemente a efectos térmicos ambientales.

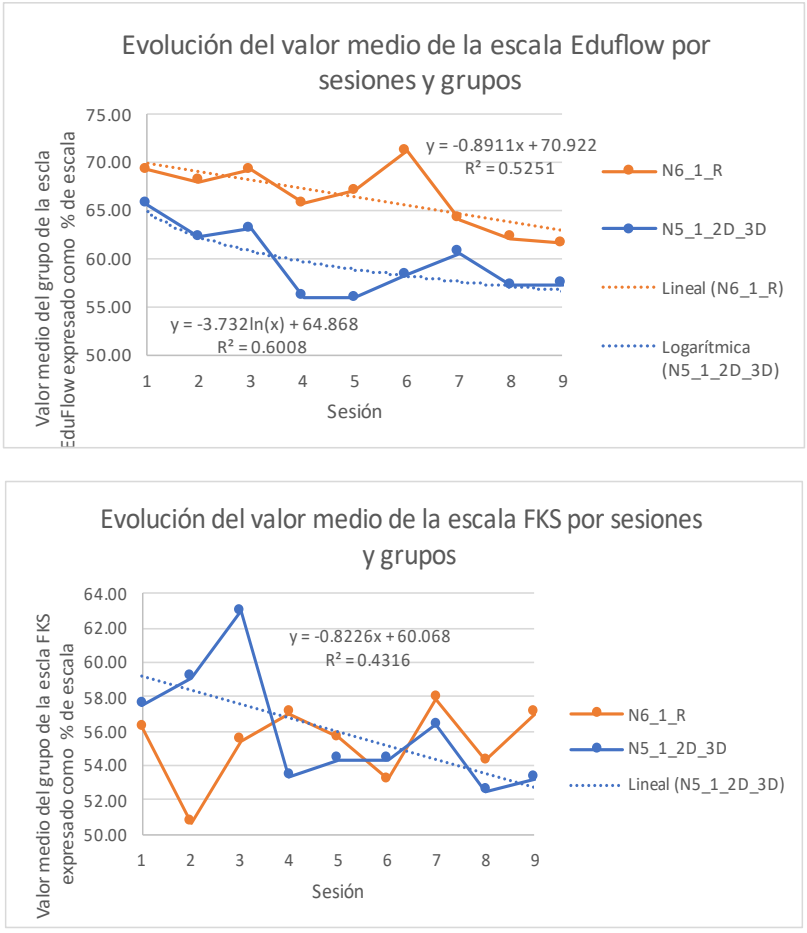


Figura 3.18. Arriba: Evolución por sesiones del valor medio de la escala EduFlow en los grupos de control. Abajo: Misma evolución para la escala FKS. Elaboración propia.

6.3.3.4. Resultados de datos de fisiología cardiaca en los grupos de control.

Este apartado de la tesis está afectado por las especiales limitaciones éticas que implica el trabajo con pruebas de fisiología que pudieren ser interpretadas como datos de carácter personal, más todavía, cuando trabajamos con menores. Este podría ser el caso de los reportes que obtenemos con Kubios, que identifican sin ningún género de dudas al profesor, para empezar, por los especiales niveles de estrés que se advierten. También sospechamos que pueda identificar a alumnado con altos niveles de activación del sistema parasimpático, aunque anonimicemos los datos, puesto que la tendencia se mantiene a lo largo de series temporales. Por consiguiente, ya que albergamos dudas razonables de que no puedan identificarse a más participantes por expertos en la materia, a fin de ser absolutamente escrupulosos en el presente y, también, en el futuro, ante un eventual endurecimiento de las normativas, rehusamos publicarlos, salvo muy resumidamente.

En cualquier caso, los informes de Kubios reportan una ínfima incidencia de datos perdidos, atribuibles al desempeño de los dispositivos, en torno al 1% de media en los grupos de estudio, donde evaluamos 34 sesiones lectivas, aprovechando al menos media hora de clase en cada una.

Por criterios de economía de espacio, recomendamos especialmente consultar medias grupales de los parámetros HR y su desviación estándar, en las tablas 3.23, 3.29 y 3.33 por ejemplo, que cobran además mayor sentido, puesto que se interpretan a la luz de escalas y dimensiones del *flow*.

En los Anexos 13 y sucesivos, mostramos y explicamos múltiples correlaciones entre parámetros HRV extraídos con Kubios, las escalas de *flow* o sus dimensiones promedio.

6.4. Discusión de resultados de los grupos de control.

En este apartado, valoraremos el rendimiento educativo y niveles de bienestar de los participantes en el primer ciclo de Investigación-Acción, donde participan 2 grupos de control. Con ello, respondemos parcialmente a los objetivos de investigación *OE3 y OE4*.

También se discute y encuentra validez a las escalas EduFlow y FKS en términos cardiológicos grupales, respondiendo al objetivo de investigación *OE1.*

Finalmente, siguiendo a Elliot (2000) y Stenhouse (1984), se identifica una hipótesis a contrastar en posibles ciclos futuros de Investigación-Acción. En este sentido, nos percatamos de que el profesor parece manejar los grupos-clase justamente en términos de *flow*, en base a pruebas de concordancia de señales y observaciones del diario de clase, lo cual queda fuera de los objetivos de esta tesis.

6.4.1. Discusión de resultados de las entrevistas en los grupos de control.

Después de realizar las pruebas de conocimientos finales de cada temática trabajada (robótica, diseño 2D y Roblox Studio), entrevistamos al alumnado de los grupos de control. Dichas entrevistas constaban de 10 cuestiones y, junto a la intención de las mismas, los resultados obtenidos se recogen en la tabla 3.12. Estas entrevistas, tuvieron lugar después del examen de conocimientos finales. Las 4 primeras cuestiones se respondían con escalas Likert de 5 puntos, mientras que las otras eran abiertas. El alumnado, además, anotaba sus respuestas en papel y se pasaron a una hoja de cálculo, para estudiarlas posteriormente.

Tabla 3.12. Preguntas de las entrevistas al alumnado y la intención con la que se formularon. Elaboración propia

ID	Dando clase de XXX con qué frecuencia sucede que …	Interés por triangular
Q1*	…te sientes tan concentrado que solo te interesan las actividades y no haces caso de lo que sucede a tu alrededor?	Absortamiento cognitivo
Q2*	…sientes que el tiempo pasa tan rápidamente que la clase se te hace muy corta?	Volatilidad del tiempo
Q3*	…lo que haces es muy divertido de hacer	Autotelismo
Q4*	…has llegado a realizar actividades sin esfuerzo aparente	Característica del *flow* (Csikszentmihalyi, 1990)
Q5	¿La dificultad de las actividades ha ido aumentando poco a poco?	Dimensión progresividad de la escala FKS
Q6	¿Cómo de importantes han sido para ti las actividades?	Importancia de las tareas de la escala FKS
Q7	¿Por qué?	Expectativas
Q8	¿Qué es lo que más te ha gustado del curso?	Aceptación del curso
Q9	¿Y lo que menos?	Aceptación del curso
Q10	¿Han funcionado bien los ordenadores?	Preparación previa del aula
Q11	¿Qué nota le pones al curso (1-10)?	Aceptación del curso
*q1, q2, q3 y q4 se responden con escalas Likert de 5 puntos, según estas opciones: Nunca / Raramente /A veces / Frecuentemente /Siempre o casi siempre		

A continuación, en la Figura 3.19, agrupamos las respuestas a las preguntas Q1, Q2, Q3 y Q4, por temáticas, donde se aprecia gran similitud entre las medias de las respuestas en los grupos de control. Dicha similitud no es solo aparente, sino que se realizaron contrastes de hipótesis mediante la prueba U de Mann-Whiney (Wilcoxon, 1946; Mann & Whitney, 1947) con un nivel de significatividad $\alpha = 0.05$ y dos colas, para cerciorarnos de ello, sabiendo que no hay normalidad en la distribución de las variables de estudio.

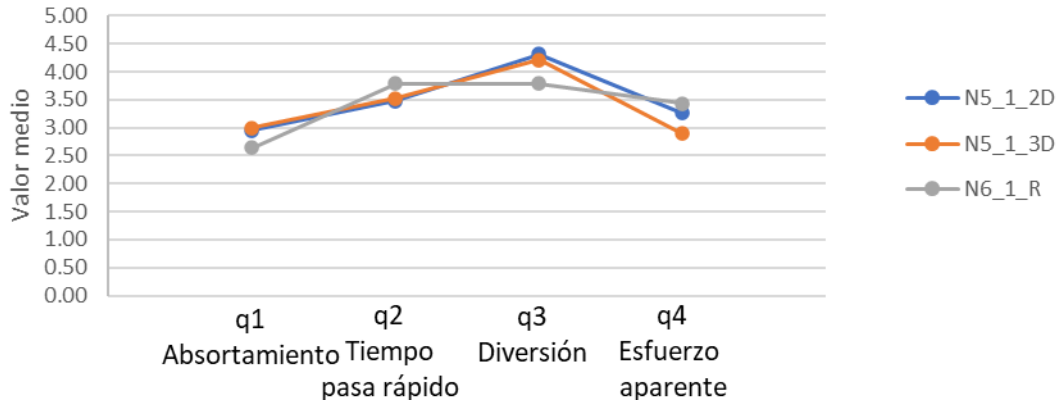


Figura 3.19. Comparativa por temáticas de las cuestiones Q1, Q2, Q3 y Q4 en los grupos de control por temáticas. Elaboración propia

Así, quisimos conocer si los valores medios de la variable Q3 (diversión) eran estadísticamente similares en los cursos N5_1_2D y N6_1_R. Puesto que obtuvimos un valor U = 88 y el valor crítico con nuestro nivel de significatividad es 78, el resultado no es significativo, ya que el z-score = 1.62095 y el p-valor = 0.10524.

En cambio, no son similares las medias de Q1 (absortamiento) y Q3 (diversión) en el grupo la N5_1_2D. Se llegó a esta conclusión debido a que la hipótesis de la prueba era la igualdad entre variables, obteniendo un valor U = 69 y un valor crítico para la prueba con nuestro nivel de confianza igual a 113. Además, el z-score = -3.24062 y el p-valor = 0.0012. Por consiguiente, existen diferencias estadísticamente significativas entre las variables absortamiento y diversión en el grupo estudiado. Lo mismo sucede para las mismas cuestiones en el grupo de robótica (U = 29.5; valor crítico = 55; z-score = -3.12444; p-valor =0.0018).

Para concluir con la descripción de la Figura 3.19, podemos decir también que en todos los grupos existen niveles medios de absortamiento cognitivo (cercanos a 3), moderadamente altos de pérdida de la noción del tiempo y de percepción de realizar las actividades sin esfuerzo aparente (4). En cambio, los niveles de diversión son elevados, cercanos a 4 puntos de 5 posibles en los 3 cursos.

Posteriormente, nos preguntamos cómo percibieron los participantes la progresividad de los cursos, de lo cual damos cuenta en la Figura 3.20. En este caso, como las preguntas eran abiertas, contabilizamos las veces que el alumnado respondió “poco a poco”, “un poco brusco” y “ha ido bajando”, así como el porcentaje de respuesta a cada variante. En esta ocasión, no realizamos pruebas de contraste de hipótesis, ya que la coincidencia en los tres cursos es casi absoluta. Observamos, también, que cerca del 90% de los casos manifiestan que la dificultad de los cursos ha ido aumentando paulatinamente y sin brusquedad.

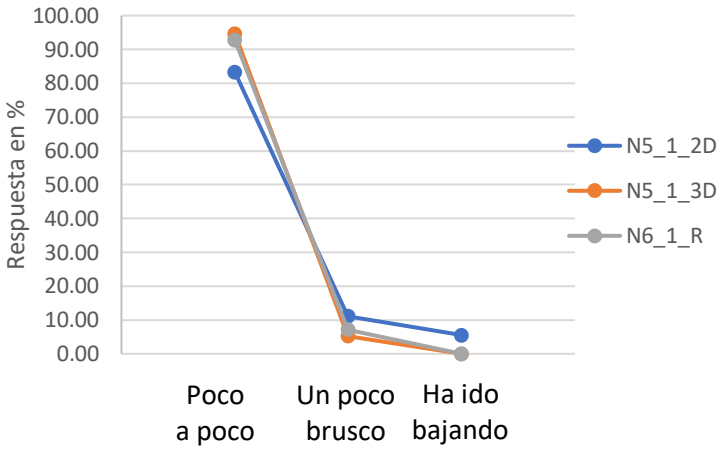


Figura 3.20. Progresividad de los cursos manifestada en las entrevistas de los grupos de control por temáticas. Elaboración propia.

Más adelante, estudiamos la importancia dada a las temáticas trabajadas (q6) en los grupos de control (Figura 3.21). Puesto que las preguntas eran abiertas, contabilizamos las veces que el alumnado respondió "muy importante", "importante" y "medio importante" y lo expresamos en tantos por ciento.

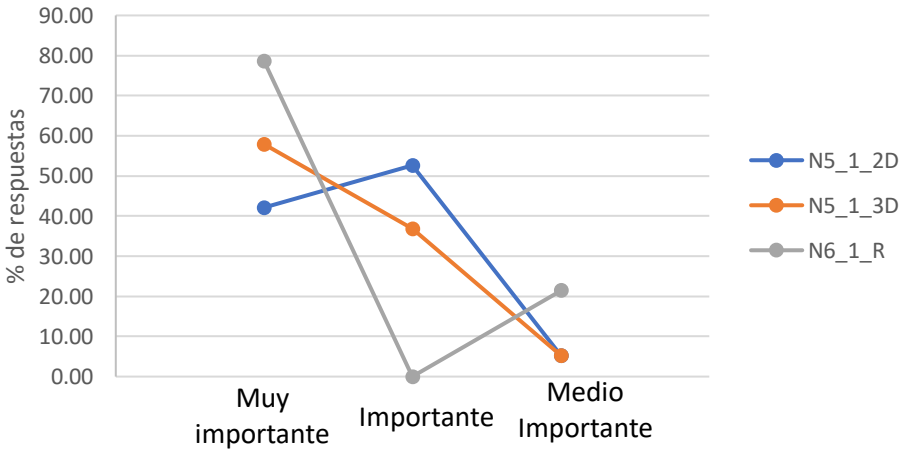


Figura 3.21. Importancia dada en las tareas a los cursos manifestada en las entrevistas de los grupos de control por temáticas. Elaboración propia

Mediante pruebas de hipótesis usando la prueba U de Mann-Whitney, descubrimos la similitud estadística de las respuestas dadas en los tres cursos, la cual no resulta tan evidente en la Figura 3.21 *a priori*. En esta ocasión, parecen existir diferencias en cuanto a la variante "muy importante" entre los distintos grupos, pero no pueden demostrase diferencias estadísticamente significativas. Para ello, realizamos contrastes de hipótesis dos a dos para las respuestas por temáticas, considerando la variante "muy importante" y las

recogemos en la tabla 3.13, no demostrándose diferencias estadísticamente significativas en los 3 cursos analizados.

Tabla 3.13. Contrastes de hipótesis mediante la prueba U de Mann-Whitney para conocer si hay diferencias en el porcentaje de respuesta "muy importante" por temáticas en lo grupos de control. Elaboración propia.

Hipótesis: el porcentaje de respuesta "muy importante" dado a las tareas es igual entre los grupos con α= 0.05	U	Valor crítico de U	z-score	p-valor	Resultado
N5_1_2D vs. N5_1_3D	153.5	113	-0.77366	0.4413	No significativa
N5_1_2D vs. N6_1_R	99.5	78	-1.20205	0.23014	No significativa
N5_1_3D vs. N6_1_R	116	78	-0.60103	0.5485	No significativa

Por lo anterior, se aprecia en la figura 3.21 que las tareas son importantes o muy importantes mayoritariamente y la similitud entre los grupos. En este sentido, aunque en el grupo de robótica nadie responda "importante", se compensa este efecto con un mayor porcentaje de respuesta de tipo "muy importante", próxima al 80% de los casos. Además, las respuestas que dan una importancia media a las tareas están por debajo del 20% y nadie resta importancia a las actividades desarrolladas en ninguno de los grupos. Por consiguiente, el alumnado confiere mucha importancia a las actividades.

Seguidamente, estudiamos las respuestas a la pregunta Q7, que es de tipo abierto y hace referencia a las motivaciones por las que otorgaron gran importancia a las tareas. En esta ocasión, obtuvimos tres motivaciones: diversión, utilidad y logro. Así, contabilizábamos una respuesta en la categoría "diversión", ante respuestas del tipo "porque me gusta", "porque me lo paso bien" o "porque es divertido". En cambio, contabilizábamos una respuesta en la categoría de "utilidad", si hacían referencias a empleos futuros o aplicaciones en otras etapas educativas. Finalmente, en la categoría de" logro", agregamos respuestas del tipo "porque aprendo" o "porque aprendemos cosas nuevas". Recogemos en forma de gráfica (Figura 3.22) los porcentajes de respuestas por grupos, asignados a cada motivación (autotelismo, utilidad y logro).

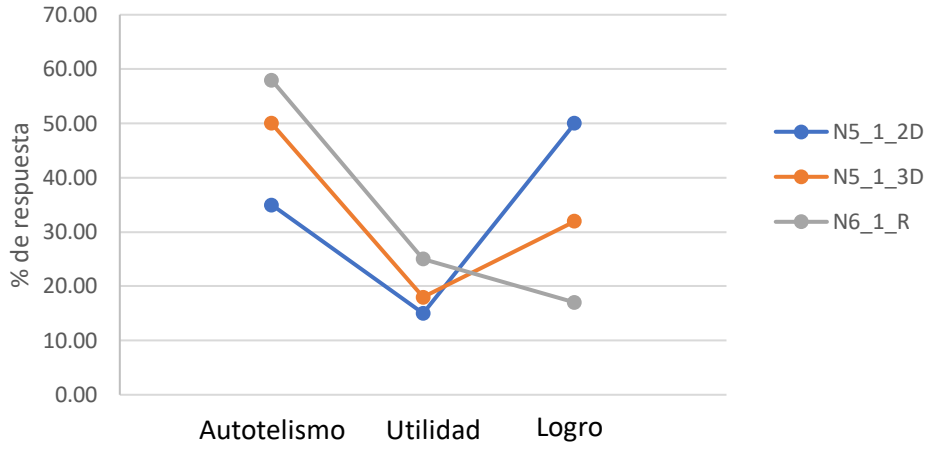


Figura 3.22. Motivo de la importancia dada a las tareas en los grupos de control por temáticas. Elaboración propia

Además de lo anterior, mostramos en forma de diagramas de sectores las respuestas dadas por temáticas en los grupos de control ante las razones (expectativas) por las que el alumnado quiere participar en los cursos (Figura 3.23).

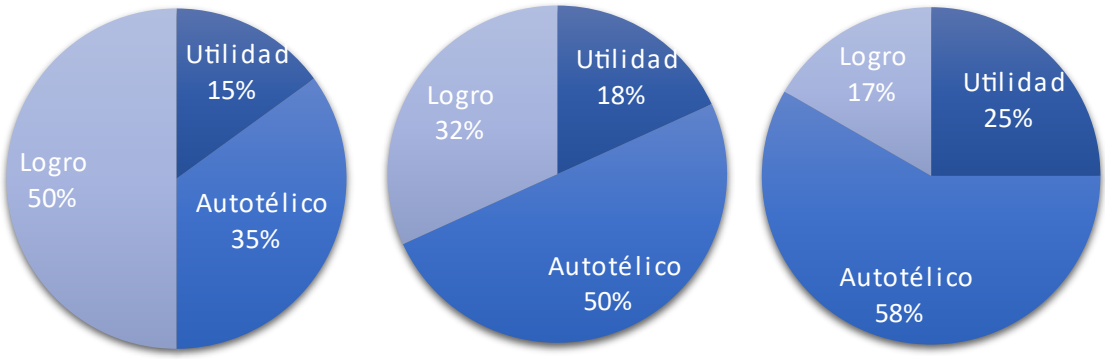


Figura 3.23. Motivo de la importancia dada a las tareas en los grupos de control por temáticas. Elaboración propia

De la Figura 3.23, deducimos que existe una fuerte componente de expectativas autotélicas (diversión) en el alumnado, especialmente en los grupos N5_1_3D y N6_1_R, donde supera la mitad de los casos (entre 50% y 58%). En cambio, en el grupo N5_1_2D, la mitad de los casos son atribuibles a expectativas de logro. Para concluir, en las tres actividades, el menor porcentaje de respuesta se da para motivaciones de utilidad, con porcentajes similares (entre 15-25%).

Con respecto a las preguntas Q8 y Q9, no encontramos un patrón de respuesta común en ninguna temática, por lo que las actividades que más han gustado o disgustado deben atribuirse más bien a gustos personales, antes que a un mal diseño de las actividades propuestas. Asimismo, los ordenadores funcionaron perfectamente para la mayor parte del alumnado (Q10), refiriéndose algunos problemas puntuales y minoritarios, lo cual es coherente con lo percibido por el profesor en el diario.

Para finalizar este apartado, observamos que para la valoración global de los cursos (Q10), se pedía una respuesta cerrada en escala de 1 a 10, fluctuando entre 9.1 y 9.2, de media. Dichas valoraciones son muy positivas e idénticas, lo cual recogemos y demostramos por temáticas en la tabla 3.14. En ella, adjuntamos también los resultados de las pruebas U de Mann-Whitney para realizar un contraste de hipótesis con las valoraciones de cada temática dos a dos (valoración A y B), recogiendo entre paréntesis su media y desviación estándar. En el centro de la tabla, vemos el valor del parámetro U y su significatividad. Como en los cruces entre hipótesis nulas aparecen p-valores muy superiores a 0.05 en todos los casos, se confirma la similitud manifiesta entre la valoración de los tres cursos.

Tabla 3.14. Resultados de las pruebas U de Mann-Whitney sobre la variable valoración en los grupos N5_1_2D, N5_1_3D y N6_1_R. Elaboración propia

Valoración A	U de Mann-Whitney	Sig.	Valoración B
N5_1_2D (9.1±1.2)	82	0.92034	N6_1_R (9.2±0.99)
N5_1_3D (9.2±0.98)	70	0.95216	N5_1_2D (9.1±1.2)
N6_1_R (9.2±0.99)	70.5	0.97606	N5_1_3D (9.2±0.98)

6.4.2. Discusión del rendimiento educativo en los grupos de control.

En primer lugar, apreciamos que las distribuciones de las calificaciones de los cursos N5_1_2D, N5_1_3D y N6_1_R no siguen una distribución normal. Por ello, para conocer si existen diferencias significativas entre dichos grupos, se realizan con SPSS contrastes de hipótesis mediante la prueba U de Mann-Whitney, con una significatividad del 5% y dos colas, sabiendo que contamos con igual número de casos en todos los grupos (n=14). Así, deducimos de la tabla 3.15, que solo se infieren diferencias significativas entre las calificaciones del grupo que practica Roblox Studio (5N1_3D) frente al grupo N6_1, que realiza un curso de robótica (U = 40; p. = 0.01428), siendo las calificaciones superiores en el primer caso. En cambio, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre los resultados obtenidos en diseño 2D y robótica (U= 66.5; p. = 0.24604), ni entre los cursos de diseño (U = 80; p. = 0.42372), ya sea 2D o 3D, para los grupos de control.

Tabla 3.15. Resultados de las pruebas U de Mann-Whitney sobre la variable calificaciones entre los grupos N5_1_2D, N5_1_3D y N6_1_R. Elaboración propia

Calificaciones A	U de Mann-Whitney	Sig.	Calificaciones B
N5_1_3D (7.75±0.25)	40	0.01428*	N6_1_R (6.4±0.42)
N5_1_3D (7.75±0.25)	80	0.42372	N5_1_2D (7.06±0.38)
N5_1_2D (7.06±0.38)	66.5	0.24604	N6_1_R (6.4±0.42)

Asimismo, presentamos de forma gráfica en la Figura 3.24 las calificaciones obtenidas en cada temática en los grupos de control, siguiendo la nomenclatura que se recoge en la legislación educativa de nuestra región (Decreto 97/2015, de 3 de marzo, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Primaria en la Comunidad Autónoma de Andalucía). Esta es común a otras regiones de España y otorga las siguientes calificaciones por rangos, en una escala de 1 a 10: insuficiente (< 5), bien (6-7), notable (7-8) y sobresaliente (9-10). Además, se realiza un redondeo al alza entre rangos cuando se superan las 5 décimas.

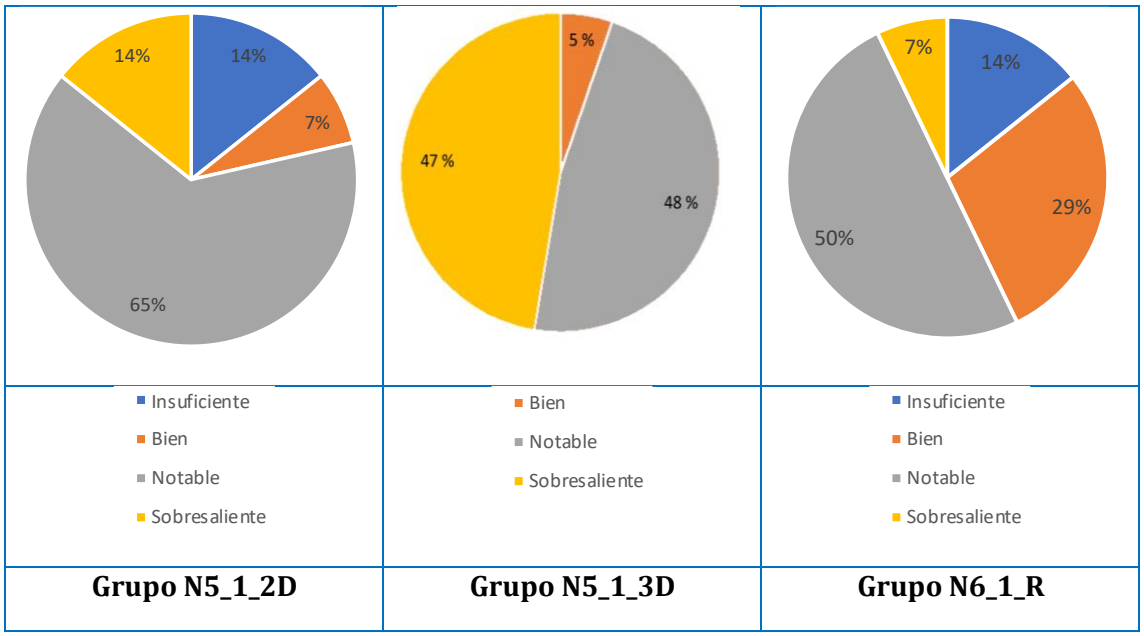


Figura 3.24. Calificaciones obtenidas en cada temática en los grupos de control. Elaboración propia

Cabe destacar, de la Figura 3.24, que no hay suspensos en el grupo de Roblox Studio (N5_1_3D), a pesar de disponer de solo 2 sesiones y de la complejidad del entorno de desarrollo, y que se reparten de manera equitativa las calificaciones de notable y sobresaliente, descontando un 5% de aprobados.

En cambio, las calificaciones insuficientes son idénticas en los grupos de diseño 2D y robótica (15%), donde los cursos son más extensos. Asimismo, hay una clara diferencia en

cuanto a la proporción de calificaciones de la categoría "bien", siendo superiores en el grupo de robótica (29%) frente al de diseño 2D (7%). Igualmente, las calificaciones sobresalientes, doblan en porcentaje en el grupo de diseño 2D (14%) a las de robótica (7%). En ambos casos, además, hay una predominancia de los notables (65% frente al 50%), siendo parecidos en los tres grupos. Con respecto a las calificaciones máximas y mínimas sobre 10, encontramos que en diseño 2D van desde 4.44 a 8.89, en robótica de 6.35 a 8.89 y, en Roblox Studio, de 5.71 a 10.

En definitiva, las calificaciones medias en el grupo de robótica están en torno al bien (6.4±0.42), las del grupo de diseño 2D, son de notable (7.06±0.38), y las Roblox Studio, de notable también, resultando las mayores (7.75±0.25), pero no significativamente distintas con respecto a las de diseño 2D. De ello, deducimos que los rendimientos educativos han sido buenos en las tres temáticas de los grupos de control, sobre todo cuando no demostraron conocimientos iniciales en ninguna de ellas con los mismos exámenes en la fase pretest (ver Anexos 9 y 10), si bien existe un reducido número de suspensos en todas ellas, que nos gustaría mejorar. En el otro extremo, solo existen calificaciones perfectas en Roblox Studio (2 casos), lo cual podría ser objeto de mejora para las otras temáticas. También parece que la robótica resulta más complicada que el diseño 3D, no pudiendo concluir que dicha diferencia se deba a rendimientos diferenciales inherentes a los propios grupos, puesto que los dos grupos de control (N5_1 y N6_1) obtienen calificaciones medias similares en temáticas largas (diseño 2D y robótica).

6.4.3. Validación electrocardiológica de las escalas FKS y EduFlow en grupos escolares presenciales.

En primer lugar, realizamos un proceso de validación de las escalas EduFlow y FKS-13 con los cuestionarios que contestaron los participantes de los dos grupos de control a lo largo de 14 sesiones de clase. Dejamos cautelarmente aparte las 2 primeras sesiones, debido a que los desarrollos tecnológicos no han sido probados en un contexto real antes y queremos dedicarlas, más bien, a realizar un ensayo general de los mismos. En la tabla 3.16, recogemos las dimensiones de cada cuestionario y los ítems a partir de los que se extrajeron en Heutte et al. (2016) y Rheinberg et al. (2003), respectivamente.

Tabla 3.16. Dimensiones de las escalas EduFlow (D), FKS- (F) y para evaluar el ajuste de las tareas (A). Elaboración propia

Clave	Dimensión (preguntas del cuestionario)	Escala de *flow*
D1	Absortamiento cognitivo (1-3)	EduFlow (Heutte et al., 2016)
D2	Distorsión de la percepción del tiempo (4-6)	EduFlow (Heutte et al., 2016)
D3	Pérdida de autoconciencia (7-9)	EduFlow (Heutte et al., 2016)
D4	Experiencia autotélica-bienestar (10-12)	EduFlow (Heutte et al., 2016)
F1	Progresividad del curso (4,5,7,9)	FKS (Rheinberg et al., 2003)
F2	Absortamiento cognitivo (1,3,6,10)	FKS (Rheinberg et al., 2003)
F3	Importancia de la tarea (11,12,13)	FKS (Rheinberg et al., 2003)
A1	Challenge (una para valorar el Reto)	FKS (Rheinberg et al., 2003)
A2	Skills (una para valorar Competencias)	FKS (Rheinberg et al., 2003)

A3	Balance (una para valorar Equilibrio)	FKS (Rheinberg et al., 2003)

Como se vio en el apartado 6.3.1, comprobamos mediante Análisis Factorial que no todas las dimensiones de la escala EduFlow, definidas por sus autores, se verifican en nuestro contexto. En este caso, las preguntas asociadas a la dimensión D1 sí son coincidentes y tenían un alfa de Cronbach adecuado, al igual que la suma de la escala completa. Por lo tanto, D1 y la suma de la escala EduFlow se pueden considerar como base para configurar un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF). Además, Heutte et al. (2016) demuestran que D1 (absortamiento cognitivo) es la piedra angular del modelo, como vimos en el apartado 2.11.

Además, se validó una escala híbrida con ítems de la escala EduFlow y FKS, pero se descartó usarla como base para un modelo, por carecer de permiso de los autores para combinarlas y por ser más larga que cualquiera de las dos escalas que la componían, de modo que resultaba muy extensa para ser contestada por niños/as. Recodemos que hay que responderla tras cada sesión.

Recordemos también que, los parámetros cardiacos usados en esta tesis, se extrajeron con el software Kubios por tramos de 5 minutos en cada sesión para cada participante, a partir de archivos que guardamos en formato CSV en los smatwatches. Ello se hizo por consideraciones de estándares cardiológicos (c.f. Seppälä et al., 2014), sin cuya observancia, los parámetros cardiacos no son válidos para compararlos entre sí. Gracias a este software, también se filtran las señales cardiacas en bruto de latidos anómalos, obteniendo menos del 1% de datos corregidos. De este proceso, obtuvimos las medias de los numerosos parámetros cardiacos que se extraen con Kubios por sesiones y tramos de 5 minutos, para analizarlos en tablas compatibles con SPSS.

A continuación, tomamos los resultados de las escalas FKS-13 y Eduflow. De ellas, tomamos las medias aritméticas de cada dimensión del *flow* para cada participante por sesiones, además de sus parámetros cardiacos por tramos de clase cada 5 minutos.

Asimismo, puesto que las sesiones no tienen igual duración, se toma un máximo de 5 tramos para cada sesión, ya que cada clase puede durar, como máximo, una hora, de la que se pierde parte, debido a los protocolos de investigación (poner relojes, bandas deportivas, reposar, etc.). Con todo ello, realizamos un estudio correlacional bivariado.

Utilizando SPSS, se ha comprobado que, ni las dimensiones de la escala FKS-13 ni EduFlow cumplen la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors, que es la que corresponde por contar con más de 50 cuestionarios completos (tabla 3.17).

Tabla 3.17. Pruebas de normalidad de las escalas de flow y sus dimensiones o características (FKS-13 y Eduflow). Elaboración propia

Características	**Kolmogorov-Smirnov[a]**			**Shapiro-Wilk**		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
D1	0.127	191	0.000	0.968	191	0.000
D2	0.110	191	0.000	0.961	191	0.000
D3	0.099	191	0.000	0.957	191	0.000
D4	0.098	191	0.000	0.956	191	0.000
F1	0.131	191	0.000	0.958	191	0.000
F2	0.117	191	0.000	0.974	191	0.001
F3	0.084	191	0.002	0.965	191	0.000

Suma FKS	0.079	190	0.006	0.981	190	0.012
Suma EduFlow	0.129	190	0.000	0.963	190	0.000
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Como no siguen distribuciones normales ninguna dimensión de las escalas ni la suma de escalas estudiadas (Sig. < 0.001), optamos por pruebas de correlación no paramétricas, decantándonos por realizar correlaciones de Spearman, con significatividad de dos colas, para α = 0.05 y 0.01. También se aprecia a simple vista en los histogramas de frecuencias que las distribuciones no son normales (Figura 3.25).

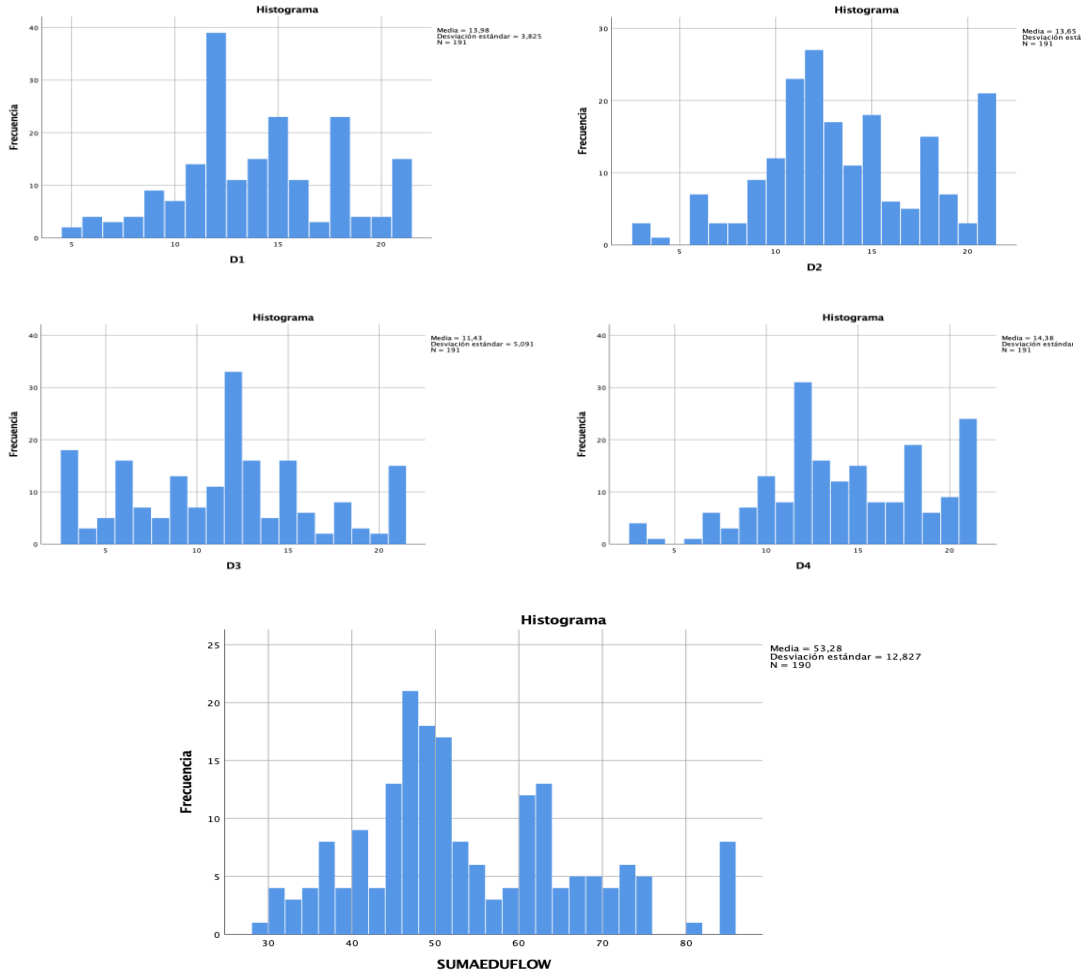


Figura 3.25. Histogramas de frecuencias de la escala Eduflow y sus 4 dimensiones. Elaboración propia

A continuación, realizamos por tramos de 5 minutos:

1. Un recuento de correlaciones significativas encontradas entre variables cardiacas, dimensiones de la escala Eduflow y la sumaEduFlow *(Figura 3.26).*
2. Un recuento de correlaciones significativas encontradas entre variables cardiacas y la dimensión D1 de la escala Eduflow (absortamiento cognitivo) y la suma de la escala Eduflow.

	*SIGNIFICATIVIDAD TOTAL		
	Sig.	Sig.	Total
CORTE	0.05	0.01	
S1	23	33	56
S2	38	24	62
S3	40	24	64
S4	23	35	58
S5	41	19	60

Figura 3.26. Recuento de correlaciones por niveles de significatividad y secciones lectivas de 5 minutos. Elaboración propia.

3. Correlaciones de Spearman y significatividad entre D1, EduFlow y el ritmo cardiaco medio, ya que muestra correlaciones con p. < 0.01 y relativamente elevadas, con respecto a las demás *(tabla 3.18).* Además, supone poco coste computacional, ya ha sido usada con éxito y es un valor que resultaría intuitivo para ser usado como información en un contexto real.

Tabla 3.18. Correlaciones de Spearman y significatividad entre D1, Eduflow y el ritmo cardiaco medio. Elaboración propia

	D1			EDUFLOW			D1 x MeanHRbpm	Eduflow x MeanHRbpm
	Sig.	Sig.	Total	Sig.	Sig.	Total		
CORTE	0.05	0.01		0.05	0.01			
S1	7	21	28	6	4	10	-0.298**	-0.238**
S2	19	10	29	5	4	9	-0.353**	-0.290**
S3	15	8	23	6	2	8	-0.315**	-0.254**
S4	13	14	27	2	4	6	-0.222**	-0.202**
S5	13	5	18	6	2	8	-0.292**	-0.165
**Significatividad < 0.01								

Vemos que, para D1, el recuento de correlaciones con diversos parámetros cardiacos con Sig. < 0.01 disminuye conforme avanzan las sesiones de clase *(Figura 3.27),* por lo **que tomar una decisión informada durante los 5 primeros minutos por conocer predicciones del modelo puede ser efectivo para mejorar los rendimientos educativos y el bienestar**.

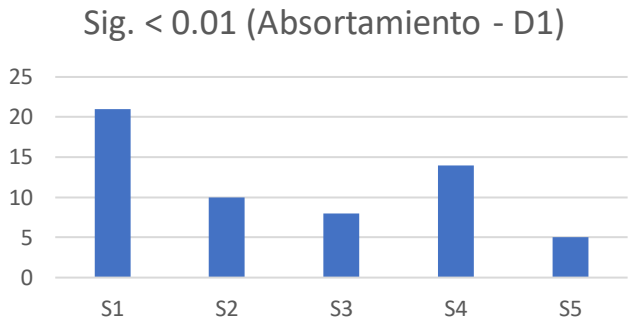


Figura 3.27. Recuento de correlaciones con alfa < 0.01 por tramos de sesión entre parámetros cardiacos y la dimensión D1 de la escala EduFlow (absortamiento cognitivo), donde se observa una tendencia descendente conforme avanzamos en las sesiones. Elaboración propia

Además, los coeficientes de correlación de Spearman para cada tramo son negativos, indicando que el flow disminuye en los grupos de control al aumentar el ritmo cardiaco y viceversa. También, vemos que durante el segundo tramo se maximiza la expectativa de *flow* en el alumnado con respecto al parámetro MeanHRbpm (media de pulsaciones por minuto grupal). A su vez, la capacidad predictiva disminuirá al avanzar la clase, ya que disminuyen los coeficientes de correlación. Puesto que durante el primer tramo de 5 minutos hay correlacionas muy significativas entre MeanHRbpm, D1 y EduFlow, resulta ideal generar un modelo predictivo en base a MeanHRbpm, para realizar una acción correctora en el tramo 2 (*Figura 3.28*). Ello se debe a que una actuación del docente con la información recabada tras el primer tramo de clase, le permitiría actuar con antelación suficiente a lo esperable tras el segundo tramo, cuando sus decisiones informadas pudieran tomarse demasiado tarde. Asimismo, por ser objetivo de esta tesis mejorar el rendimiento educativo, reviste mayor interés alcanzar altos niveles de absortamiento cognitivo con respecto al *flow* global, puesto que debemos garantizar que el alumnado se aplica en las tareas y no solamente disfruta de ellas.

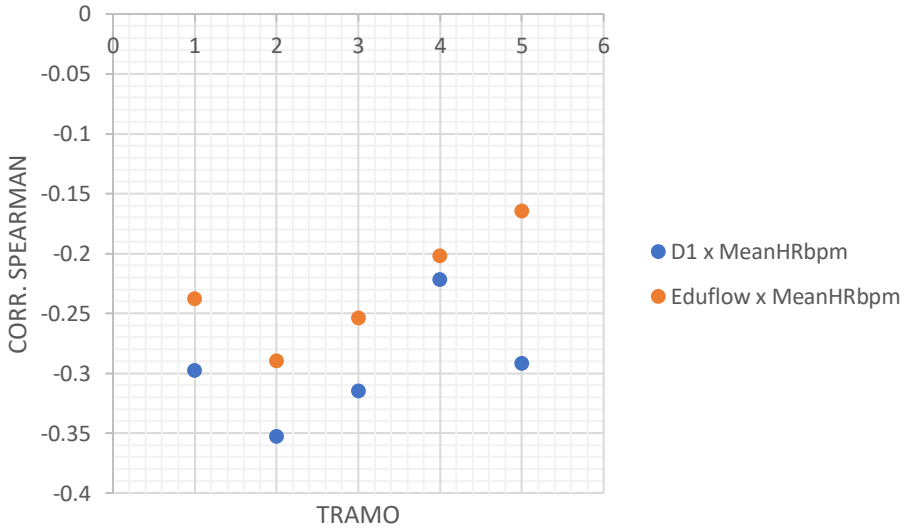


Figura 3.28. Coeficientes de correlación de Spearman por tramos secuenciales de 5 minutos con respecto al ritmo cardiaco, el absortamiento cognitivo y el flow medios de las sesiones de clase realizadas con los grupos de control. Elaboración propia

Para concluir este apartado, consideramos que los coeficientes de correlación son bajos, rozando los valores medios, pero hay que recordar que promediamos todas las sesiones de ambos grupos, sin importar temáticas ni diferencias grupales, lo cual no debe llevarnos a engaño: si hacemos lo mismo por sesiones, encontramos coeficientes de correlación medios y altos con el parámetro MeanHRbpm. Sin embargo, queremos desarrollar un modelo versátil, que no sobreajuste.

No obstante, **estas correlaciones en la primera sección temporal de 5 minutos son más fuertes y significativas al separar los datos por grupos, y mayores aún, por sesiones** (ver Anexos 13 al 18). Ello indica que **el grupo y la actividad influyen en los niveles de *flow* manifestados y que ello tiene un reflejo fisiológico medible**. También indica que cada actividad presenta unas características propias en cuanto a los parámetros fisiológicos relevantes.

6.4.4. Discusión de la concordancia entre cuestionarios del alumnado y los del profesor.

Como vimos en el estado del arte, existen antecedentes de investigación en los que se evalúa el *flow* mediante observación directa en individuos (Tordet et al., 2021), metacogniciones (Wilson & Moneta, 2016), así como la intensidad de las experiencias óptimas en grupos de personas (Custodero, 1998; Custodero, 2005; Zumeta et al., 2015; Zumeta et al., 2016). Sin embargo, en esta tesis, podemos ofrecer una perspectiva ampliada sobre cómo percibía el profesor el *flow* propio y el de los grupos de control, para poder manejarlos. Para ello, analizaremos mediante diagramas de Bland & Altman (1986, 1999) la concordancia por temáticas STEAM en los grupos de control entre el *flow* medio grupal y el del profesor, determinados con escalas EduFlow y FKS. Por consiguiente, analizamos los grupos N5_1 (diseño gráfico) y N6_1 (robótica educativa).

Muy sucintamente: proyectamos en el eje X de un gráfico de dispersión por sesiones la media conjunta entre las señales que queremos comparar (*flow* del profesor y *flow* medio del alumnado) ,y en el eje Y, su diferencia. Ello permite comparar la coherencia entre señales. En este sentido, las señales coherentes se reconocen por presentar distribuciones de puntos experimentales alineadas con respecto a una línea de equilibrio, a la que se añaden un límite de confianza inferior y otro superior, arbitrariamente elegidos (95% de confianza, en nuestro caso). Además, realizamos dichos cálculos y gráficos con el software en línea gratuito BA-plotteR (Goedhart & Rishniw, 2021).

En las Figuras 3.29, 3.30, 3.31 y 3.32, reelaboramos las cuatro gráficas generadas, considerando las combinaciones posibles entre las escalas de flow utilizadas (Eduflow y FKS), respecto a los grupos de estudio (N5_1 y N6_1). La línea de equilibrio se representa con trazo discontinuo, mientras que los límites de confianza se muestran con trazado continuo.

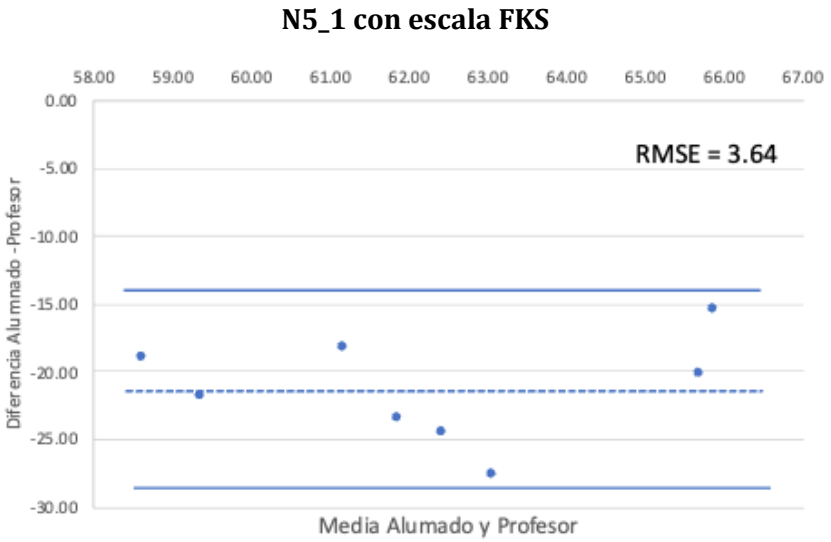


Figura 3.29. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N5_1, entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala FKS. Elaboración propia

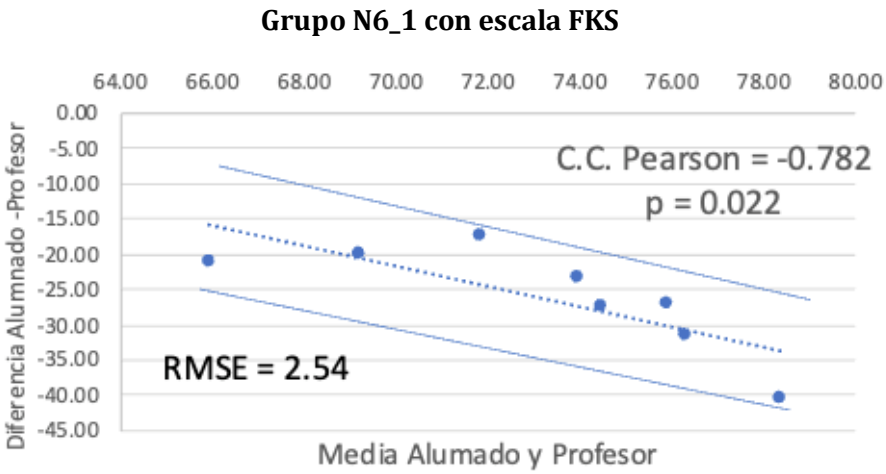


Figura 3.30. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N6_1, entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala FKS. *Elaboración propia.*

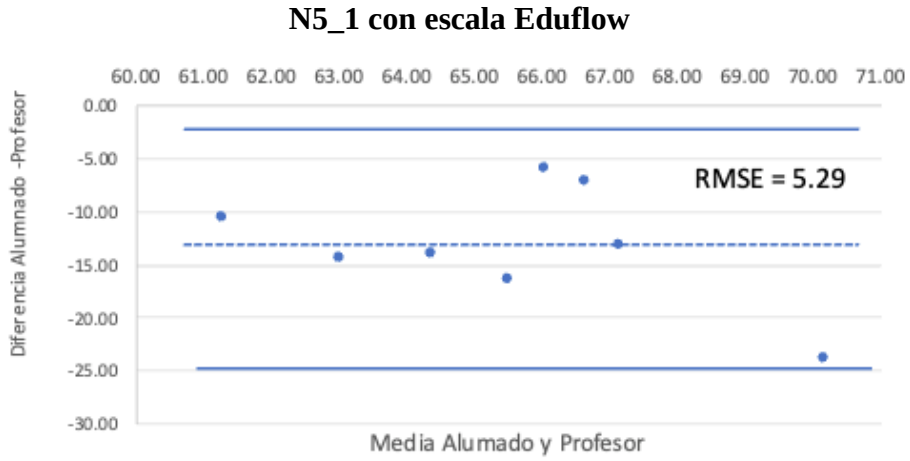


Figura 3.31. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N5_1 entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala EduFlow. Elaboración propia

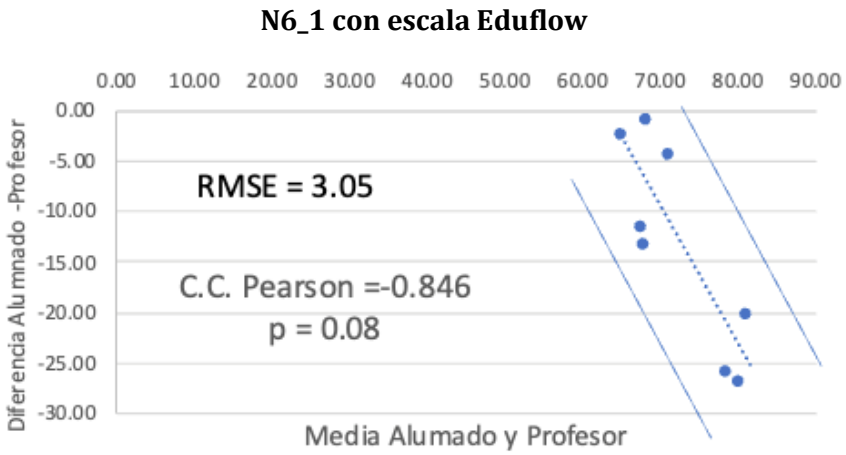


Figura 3.32. Gráfica de Bland-Altman para el grupo N6_1, entre la media grupal de flow y el flow reportado por el profesor, respecto de la escala EduFlow. *Elaboración propia.*

En primer lugar, observamos que la coherencia de las señales es manifiesta a simple vista para las cuatro combinaciones entre grupos y métodos de medida evaluados, ya que los puntos experimentales están alineados alrededor de la línea de equilibrio, dentro de los intervalos de confianza marcados. Sin embargo, como la bondad de ajuste es arbitrariamente seleccionada por el investigador, en función de la precisión que estime adecuada para su estudio, calculamos la Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE), de los puntos experimentales, respecto de la línea de equilibrio. Por ello consideramos los RMSE pequeños (3.64, 2.54, 5.29 y 3.05), ya que las escalas EduFlow y FKS permiten puntuaciones máximas de 84 y 77 puntos, respectivamente.

También hay diferencias gráficas notables entre el grupo N5_1, frente al N6_2, ya que, en estos últimos, además, se aprecia visualmente correlación lineal entre los puntos experimentales. Por ello, calculamos la posible correlación y significatividad con SPSS mediante el parámetro de Pearson (1920). La correlación es negativa y fuerte en ambos casos (r = 0.782; r = 0.846), pero solo resulta significativa para un α = 0.05 respecto de la escala FKS, frente a la EduFlow (Sig. 0.022 y 0.08, respectivamente).

En cambio, en las gráficas donde no se aprecia correlación visual en los puntos experimentales, se evalúa con ambas escalas al grupo N5_1. En este sentido, las líneas de equilibrio son horizontales (no cabe inferir correlación), situándose por debajo del valor cero, lo cual informa de que, eliminado el hecho de que el profesor reporta menos *flow*, hay una elevada coherencia entre las señales, que informa del mayor esfuerzo que realiza.

Concluyendo, existe una clara coherencia entre señales, respecto del profesor y los grupos discentes, considerando dos grupos-clase y escalas de *flow* distintas, a pesar de que realizan tareas diferentes, para al menos 8 sesiones lectivas de una hora cada una. Por consiguiente, proponemos como hipótesis a contrastar en futuras investigaciones que el profesor está evaluando a los grupos justamente en base a metacogniciones de *flow* (c.f. Wilson & Moneta, 2016) y a observaciones grupales e individuales relativas a esta misma fenomenología, ya que ello es plausible (c.f. Tordet et al. 2021, Zumeta et al., 2015), y usamos como referencia constructos de flow validados (c.f. Heutte, et al. 2016 y Engeser, & Rheinberg, 2008). Puesto que solo contamos con un profesor, entendemos que está dotado de buenas dosis de empatía, precisando más profesores para generalizar estas observaciones particulares. En cualquier caso, ello aporta valor añadido a la Teoría que estudiamos en contextos educativos, ya que es coherente con la fenomenología observada en un aula concreta y nuestro diario de clase. Así, es frecuente que el profesor se pregunte en el diario de clase de esta tesis si el alumnado disfruta, trabaja con fluidez, evidencia dificultades por su lenguaje corporal, las sesiones parecieron cortas, sin serlo, etc.

6.5. Toma de decisiones tras el primer ciclo de Investigación-Acción.

En este apartado, reflejamos la toma de decisiones informadas que resultan tras evaluar en retrospectiva el primer ciclo de Investigación-Acción. Son las siguientes:

- Dar por verificado el OE1.
- Continuar con el segundo ciclo de Investigación-Acción.
- Desarrollar un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF) como herramienta para verificar el OE2.
- No haremos un seguimiento de todos los parámetros HRV, que podríamos analizar en el segundo ciclo de Investigación-Acción, por haberse verificado notablemente el OE1. Sin embargo, seguiremos observando el correlato entre el ritmo cardiaco medio grupal, las dimensiones D1 y la escala EduFlow completa, ya que son variables relevantes para el SATEF.
- Comprobar si, en dicho ciclo, termina de verificarse el OE2 por la implementación y uso del SATEF.
- Seleccionar la escala EduFlow, y descartar la FKS, para determinar la prevalencia de *flow* de los grupos experimentales, habida cuenta de que existe una alta correlación entre ambas y de que el SATEF se organiza en torno a la escala EduFlow.
- Comparar los rendimientos educativos y niveles de *flow* entre los grupos experimentales, durante el segundo ciclo de Investigación-Acción, para verificar parcialmente los objetivos OE3 y OE4.
- Asegurarnos de que el profesor portará una versión de la app Polar SDK UNIR iTED que registre datos del acelerómetro durante la docencia, mientras que el alumnado llevará una versión sin dicho sensor, ya que los menores se quitan los relojes con frecuencia y deja de tener sentido.

- Conseguir un rúter de tarjeta SIM. De este modo, los relojes podrán conectarse a Internet y, el profesor, acceder al panel de control, en previsión de que la red Wifi del colegio no permitiese el acceso, por cualquier causa.
- Renovar el material fungible para el segundo ciclo de Investigación-Acción.
- Renovar los acuerdos con el centro educativo y el Comité de Ética de UNIR, con carácter previo a una nueva fase de campo. Conseguir nuevos consentimientos informados e informar a la Fiscalía de Menores.
- Mantener los protocolos éticos, por haberse demostrado útiles y factibles.
- Mantener el contrato del servidor sin incrementar sus prestaciones, ya que se han manifestado suficientes.
- Dejar de registrar datos del acelerómetro del alumnado. Los relojes pueden registrar señales desde las bandas deportivas sin necesidad de llevarlos sobre la muñeca y el alumnado puede quitárselos si quiere, o le molestan, por consideraciones éticas. Por consiguiente, las medidas del acelerómetro no son útiles y consumen recursos de los relojes. En cambio, se mantiene el uso del acelerómetro para el profesor.
- Continuar en la misma estancia, con los mismos portátiles y herramientas de análisis de cuestionarios durante el segundo ciclo de investigación-acción, por revelarse adecuados.
- Implementar un juego de relajación previa a las sesiones lectivas, obteniendo ventaja del SATEF, para controlar mejor los 10 minutos iniciales de relajación expresados en el protocolo de clase.

CAPÍTULO 7. SEGUNDO CICLO DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN (Grupos experimentales).

En este capítulo detallaremos el segundo ciclo de Investigación-Acción. Por lo tanto, dividiremos los contenidos para presentar de la siguiente forma: diseño, implementación y resultados obtenidos. Acabaremos el ciclo con una reflexión que dé paso, en otro capítulo, a una retrospectiva de los dos ciclos de Investigación-Acción llevados a cabo.

7.1. Diseño del segundo ciclo de Investigación-Acción.

En el segundo ciclo de Investigación-Acción participaron los 2 grupos experimentales y el profesor-investigador. Se dividió en tres fases, como justificamos en el apartado 1.6. Dichas fases son: prestest, fase de docencia y postest. Los grupos experimentales siguieron, finalmente, solo 2 temáticas educativas distintas, en contraposición a las 3 de los grupos de control, empleando metodología STEAM, con arreglo a lo dispuesto en el OE2. En este sentido, a pesar de la aparente similitud con lo argumentado en el capítulo 6, este segundo ciclo es muy diferente en la práctica, por los objetivos específicos que se evalúan, las herramientas sincrónicas de ayuda al docente incorporadas y los instrumentos que se descartan. Aun a riesgo de parecer reiterativo, se propusieron las herramientas e instrumentos necesarios para esta fase, de acuerdo a esta secuencia:

Fase pretest.

- Unas pruebas teóricas y prácticas para contrastar los conocimientos previos del alumnado, respecto a los adquiridos tras la docencia, empleando los grupos experimentales para verificar el OE3. Se heredaron las elaboradas por el investigador para los grupos de control.
- Una escala de medida a la propensión al *flow*, para identificar al alumnado no autotélico, para quienes no son adecuadas las escalas de prevalencia posteriormente necesarias en base a los objetivos OE2 y OE4. Se mantiene la escala SFPQ, utilizada en los grupos de control.
- Un cuestionario para evaluar el estilo de aprendizaje del alumnado, como método para verificar si los diseños instruccionales implementados en la fase de docencia favorecen a participantes concretos, como contraste al OE4. Volvemos a utilizar los test de Felder.

Fase de docencia.

- Una lista de asistencia a clase, para controlar si la asistencia tuviese incidencia en los rendimientos educativos (OE3) y como medida de satisfacción del programa formativo (OE4).
- Un sistema que contenga y muestre los 3 diseños instruccionales con metodología STEAM, significatividad lógica, gradación de dificultad y ajustados a la edad de los participantes, usados en el primer ciclo de IA. A su vez, el sistema registrará de manera fidedigna el desarrollo de los mismos, para discutir el OE3.
- Unos test para medir la prevalencia de *flow* de los participantes, necesarios para alcanzar los OE2 y OE4. Solo se aplicó la escala EduFlow, descartando la FKS, como se propuso tras la retrospectiva del primer ciclo de Investigación-Acción.
- Un sistema sincrónico que registre y transfiera parámetros de variabilidad del ritmo cardiaco sin ser invasivo, que también deberá registrar movimiento del profesor, además de asesorar al docente en tiempo real, para completar lo

dispuesto en el OE2. En este sentido, recurrimos al SATEF, elaborado con los datos recabados en el primer ciclo de Investigación-Acción. Dicho sistema incorporará un juego de relajación previa, como defendimos tras la toma de decisiones del primer ciclo de Investigación-Acción.

- Un diario del profesor que refleje las principales incidencias del ciclo, dando un contrapunto cualitativo a los resultados de corte cuantitativo.

Fase postest.

- Las mismas pruebas teóricas y prácticas de **conocimientos previos del alumnado**, para evaluar el incremento de conocimientos tras la fase de docencia (OE4), heredadas de los grupos de control.
- Unas **entrevistas al alumnado**, para comparar con esta técnica cualitativa los resultados obtenidos con técnicas cuantitativas. Se usaron las mismas que en los grupos de control.

Resumimos el segundo ciclo de Investigación-Acción con sus fases y herramientas específicas en la Figura 3.33. Observamos, en todo caso, las mismas consideraciones éticas en este ciclo que en el primero, por lo que no se van a repetir.

Figura 3.33. Representación esquemática del segundo ciclo de investigación-acción. *Elaboración propia.*

7.2. Implementación del segundo ciclo de Investigación-Acción.

En este apartado, se especifica la implementación del segundo ciclo de Investigación-Acción en las aulas. Para no ser reiterativos, enumeraremos las herramientas e instrumentos heredados del primer ciclo de Investigación acción, o las describiremos en detalle, en caso contrario, en apartados sucesivos.

7.2.1. Herramientas e instrumentos heredados del primer ciclo de Investigación-Acción.

Las herramientas e instrumentos empleados que ya se definieron en el apartado 6 de esta tesis, son:

- Test de Felder.
- Cuestionario SFPQ.
- Escala EduFlow.
- Entrevistas.
- Pruebas de conocimientos.
- Hojas de asistencia.
- Diseños instruccionales en SCORM.
- Panel de control.
- V4 de la app POLAR H10 SDK UNIR-iTED por parte del profesor, bandas deportivas Polar H10 y Kubios.

7.2.2. Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF).

En este apartado, mostramos el desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF) que apoye los procesos de enseñanza-aprendizaje, para dar cumplimiento al *objetivo de investigación OE2.* Dicho sistema combina modelos matemáticos visualmente interpretables como la regresión lineal, la regresión polinómica y K-medias (c.f. Bishop, 2006; c.f. Murdoch et al., 2019; c.f. Goodfellow, Bengio & Courville, 2016; Geron, 2019). Para ello, empleamos Excel y SPSS (IBM corp., 2022) en las fases iniciales del estudio, debido a que el dataset no era muy extenso y deseábamos conocer cómo el comportamiento y las distribuciones de los datos. Asimismo, perfeccionamos el conocimiento de los modelos con Jupyter Notebook (Kluyver et al., 2016) usando Python 3 (Van Rossum & Drake, 2021) y sus conocidas librerías Numpy (Harris et al., 2020), Pandas (McKinney, 2011), Scikit-learn (Pedregosa et al., 2011) y Matplot (Hunter, 2017).

Para ello, se hizo necesario seleccionar una sola escala que sirviese como base para generar un modelo matemático. Ello se debe a que responder dos escalas de *flow* seguidas en los grupos de control resultaba pesado (c.f. cansancio del respondente de Bradburn, 1978). Además, hemos demostrado en el apartado 6.3.1 la elevada correlación entre las escalas que validamos, por lo que serían redundantes. Asimismo, verificar cómo funcionaría con los

grupos experimentales un modelo basado en la escala FKS-13 tendría menos interés científico que emplear una escala EduFlow, ya que la primera ha sido utilizada en otros estudios del *flow* con fisiología cardiaca (Drachen et al. 2010; de Manzano et al., 2010 entre otros), como vimos en el apartado 2.8, dedicado a los métodos fisiológicos de medida del *flow*. Igualmente, la escala EduFlow es más específica para metodología STEAM y es adecuada tanto para entornos presenciales como virtuales (Heutte et al., 2016), de manera que se selecciona como base para desarrollar el SATEF.

Con arreglo a este razonamiento y a lo manifestado en el apartado 6.4.3, desarrollamos un SATEF usando los datos recogidos en los tramos iniciales de 5 minutos de las distintas sesiones llevadas a cabo con los grupos de control. Los datos de partida sintetizados se recogen en la tabla 3.19 y en la Figura 3.34. Seguidamente, explicamos de manera desglosada el proceso.

Tabla 3.19. Medias grupales de las características del modelo para construir el SATEF, tras la primera sección de 5 minutos de todas las sesiones de clase en los grupos de control. Elaboración propia

ID	D1g	HRg	SDg	A1	A2	A3	Flow	%D1g	%Flow
2N	10.8	77.8197415	6.4696417	2.2	6.0	5.2	49.4	51.571428	58.809523
3N	12.6	98.0273684	6.8602790	3.6	5.8	5.4	51.8	60.190476	61.690476
4N	10.4	85.4850352	6.1290678	3.2	6.0	5.0	41.2	49.523809	49.107142
5N	11.6	96.5532221	6.2224677	3.3	4.8	5.2	44.5	55.380952	53.059523
6N	12.6	84.691319	7.0404702	2.7	5.8	5.2	49.6	60.333333	59.130952
7N	13.8	88.0239182	6.9208185	3.6	4.2	4.5	52.9	65.809523	62.988095
8N	13.3	84.1752319	6.9278269	3.6	4.5	4.5	48.8	63.619047	58.119047
9N	10.5	85.3676189	6.987784	4.1	5.4	5.7	48.0	50	57.142857
2N	16.4	76.5451436	6.5279174	2.2	7.4	4.7	62.7	78.238095	74.654761
3N	16.3	74.0946027	6.7404624	3.2	6.0	5.0	56.3	77.761904	67.059523
4N	14.7	76.1984106	7.1827317	4.2	6.4	4.6	58.0	70	69.047619
5N	15.5	77.7063	6.2903074	3.4	6.7	4.5	57.6	73.809523	68.654761
6N	16	73.6696434	6.5029836	2.8	6.8	4.8	55.7	76.190476	66.369047
7N	13.5	84.7631352	6.5150282	4.1	5.3	5.4	49.8	64.571428	59.380952
8N	14.7	81.987991	6.4776004	3.7	7.4	5.0	54.4	70.380952	64.809523
9N	13.6	86.5628808	7.1063298	4.6	6.6	4.6	51.3	65.095238	61.107142

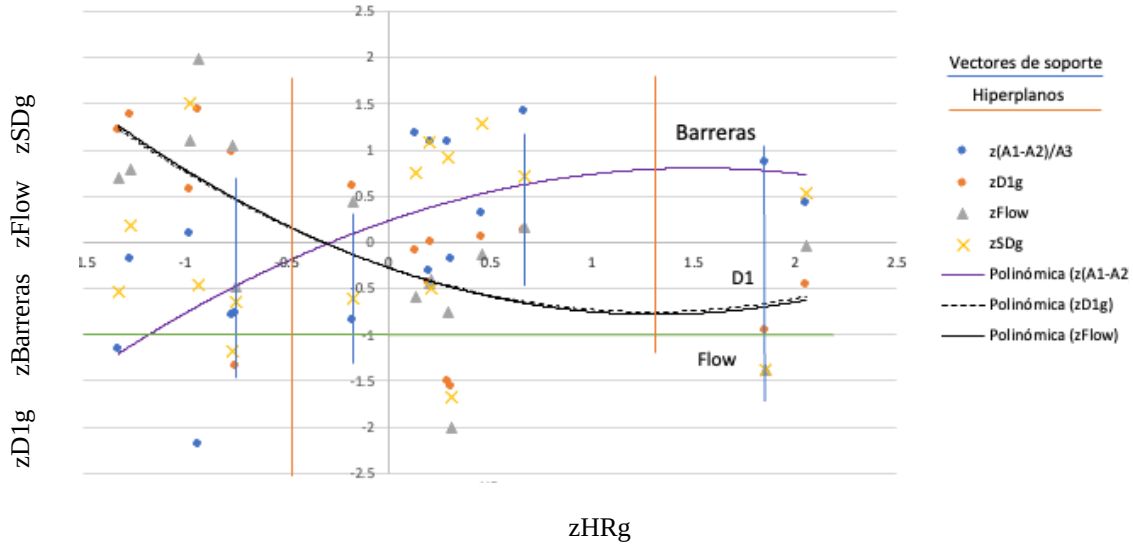


Figura 3.34. Modelo computacional en el que se basa el SATEF. *Elaboración propia*

A continuación, resumimos en 8 pasos el desarrollo del SATEF.

Paso 1. Estudiamos el dataset.

Observamos un sesgo en el dataset, ya que hay pocos casos con muy bajo *flow* y absortamiento cognitivo, además de que se constató con SPSS la no normalidad de las distribuciones de las características estudiadas (ver tabla 3.19). Además, ya que contamos con 16 casos (número de sesiones lectivas) para construir un modelo, es conveniente seleccionar algoritmos supervisados y una sola característica para cada técnica empleada (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016; Maesh, 2018). Puesto que es preferible -más en un ámbito desconocido- elaborar modelos inteligibles (Ribeiro, Singh & Guestrin, 2016; Molnar, 2019; entre otros), podría ser adecuado emplear algoritmos basados en regresiones y clasificadores de no más de 3 características. Debemos considerar también que el coste computacional sea bajo, especialmente por la presencia de los relojes inteligentes, debido a que tienen una capacidad de cálculo bastante limitada.

Paso 2. Identificamos las características a incluir en el modelo.

Para comenzar, calculamos las medias grupales de las variables MeanHRbpm (en adelante HRg), su desviación estándar (en adelante SDg), de la dimensión absortamiento cognitivo (D1g), de la suma de la escala EduFlow (en adelante, Flow) y una característica denominada Barreras, que se calcula según la Ecuación [3], a partir de las medias de las variables de la escala FKS llamadas Reto (A1), Competencias (A2) y Equilibrio (A3).

$$Barreras = \frac{\overline{A1} - \overline{A2}}{\overline{A3}} \quad [3]$$

Paso 3. Entendemos cómo se relacionan las características del modelo.

Normalizamos en Z las características HRg y la situamos sola en el eje X de un gráfico de dispersión. También normalizamos en Z las características SDg, D1g y Flow, para proyectarlas sobre el eje Y del mismo gráfico de dispersión, lo cual nos permite comprender con facilidad cómo se relacionan con HRg *(Figura 3.34).* Cuando nos refiramos a dichas características normalizadas añadiremos una "z" como prefijo a su nomenclatura. Además, mediante regresión polinómica de segundo grado, obtenemos tres curvas de ajuste para las características zHRg, zD1g y zBarreras. Estas dibujan una figura con una simetría especular con respecto al eje X de gran significado desde el punto de vista de los postulados de la Teoría Flow, como veremos más adelante.

Paso 4. Diferenciaremos unas zonas fenomenológicas de *flow* alto, medio, bajo y nulo.

Diferenciaremos unas zonas fenomenológicas de *flow* alto, medio, bajo y nulo con respecto a la variable HRg y a las otras variables que aparecen en el gráfico. Estas 4 zonas se aprecian nítidamente cuando se consideran las variables Flow y HRg. Concretamente, vemos que en las zonas de *flow* alto, medio y bajo, la media de las desviaciones estándar tiene un comportamiento diferencial (moderada en la zona de alto *flow*, elevadas en la zona de medio *flow* y muy bajas o extremadamente bajas en zonas con bajo flow), hasta el punto de que se define una zona de no *flow* cuando SDg es muy baja. Este parámetro no se usaría para otro fin, ya que no parece tan buen clasificador como las características Flow o D1g, por ejemplo. Igualmente, descontando del modelo los puntos donde no se verifica *flow*, encontramos la ecuación [4] mediante regresión polinómica de grado 2, donde se obtiene como porcentaje de escala una estimación del *flow* grupal manifestado. En la regresión no se incluyen los valores correspondientes a las sesiones 3N5 y 4N5, por situarse en la zona donde no se verifica *flow*. Además, calculamos con Python el ajuste polinómico en términos de R^2(0.4678), de la media de la Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE), tras validación cruzada con 10 iteraciones (RSME = 3.87) y su desviación estándar (SD =2.77). Asimismo, presentamos el modelo ajustado en la ecuación [4]. Nuestro ajuste en términos de r= 0.68, cuando **consideramos grupos de personas y eliminamos los casos donde no se verifica *flow***..

$$Flow = 0.0361\ HRg^2 - 6.5270\ HRg + 354.37 \text{ [4]}$$

Estos ajustes pueden considerarse muy buenos comparativamente respecto al estado del arte reportado por Tordet et al. (2021). En su estado del arte, nos informan de que las correlaciones entre medidas fisiológicas y escalas de *flow* para **individuos aislados** alcanzaron los mejores ajustes en r =0.45, siendo coherentes también con las encontradas usando una escala de medida de *flow* por observación directa (FOG). Por consiguiente, pasamos de obtener correlaciones moderadas a altas (c.f. Rowntree, 1984)

Paso 5. Evaluamos el flow medio grupal esperable.

Apartados los puntos experimentales donde no encontramos *flow* (se cumple que zSDg < -1), a continuación, aplicamos el algoritmo K-medias (MacQueen, 1967) con SPSS, identificando 3 clústeres (tabla 3.20). Muy sucintamente, el algoritmo K-medias identifica tres centros donde existe la menor distancia posible entre los puntos experimentales que pertenecen a cada grupo o clúster

Tabla 3.20. Resultados del análisis clúster mediante la técnica K-medias, eliminando puntos experimentales donde no se verifica flow o es muy bajo. Elaboración propia.

Historial de iteraciones[a]			
Iteración	Cambios en centros de clústeres		
	1	2	3
1	0.000	0.481	2.993
2	0.000	0.000	0.000
a. Convergencia conseguida. El cambio de la coordenada máxima absoluta para cualquier centro es 0. La iteración actual es 2. La distancia mínima entre centros iniciales es 13,969.			
Variables	Clústeres		
	1	2	3
HRg	98.0273684500	85.0340793767	75.6428200900
D1g (%)	60.190476190	64.968253968	75.200000000
Casos en cada clúster	1	6	5

Seguidamente, en la figura 3.35, mostramos un esquema que permite identificar 4 zonas fenomenológicas (alto *flow*, medio *flow*, bajo *flow* y ausencia de *flow*), que considera los 3 clústeres anteriores, junto a otro en el que descartamos que exista *flow* o sea muy bajo. A cada zona, le añadimos unos iconos y el código de colores de semáforo que se mostrarán en el SATEF para alertar al docente sobre el estado del aula.

Para establecer la segmentación de la Figura 3.35, se proyectan a la vez en el eje de ordenadas las características zSDg y zEduFlow, respecto de zHRg (en abscisas). Se definen dos líneas verticales de separación (hiperplanos) de una **zona de bajas pulsaciones medias grupales (L1)** y otra para las **altas pulsaciones medias grupales (L2)**, en función de valores Z de máxima separación entre clústeres contiguos. También hay una **línea horizontal que separa puntos con baja desviación estándar de la media del ritmo cardiaco grupal (zSD < -1)**. Por tanto, la zona de alto flow es aquella con valores zHRg < L1. La zona donde no esperamos flow queda identificada por valores zHRg > L1 y zSDg < -1. Las zonas de medio y bajo flow, quedan por encima del valor zSDg ≥ -1 y están separadas por L2.

Una vez establecida esta segmentación, calculamos y proyectamos una curva de ajuste polinómica de segundo grado entre zHRg y zEduFlow, excluyendo los puntos donde descartamos que se produzca *flow* o sea muy bajo.

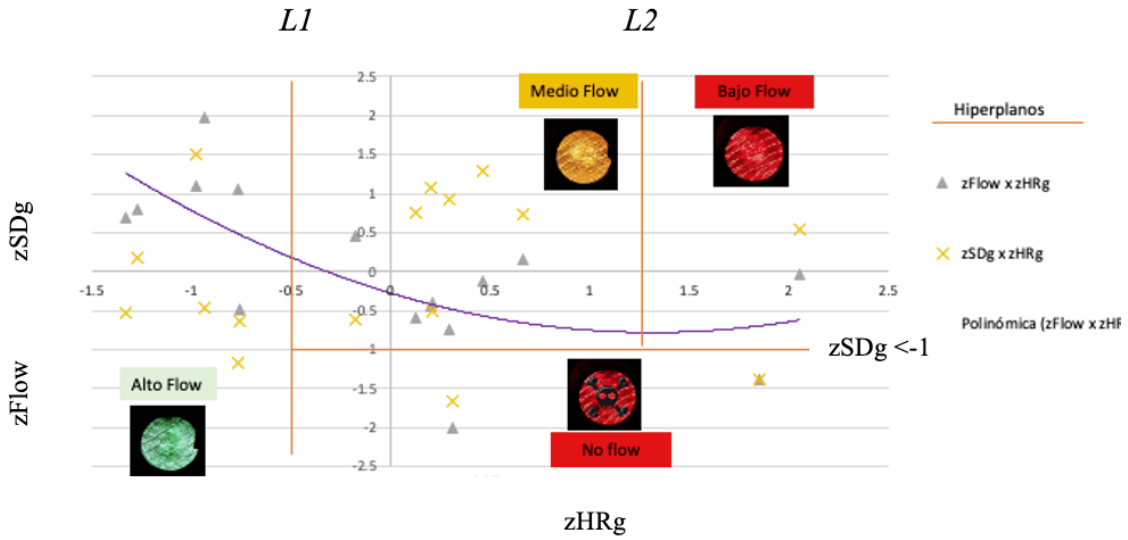


Figura 3.35. Zonas fenomenológicas de flow definidas para el SATEF a partir de las características zFlow, zSDg y zHR, con sus iconos y código de semáforo. Elaboración propia.

Paso 6. Evaluamos el absortamiento cognitivo medio grupal esperable.

De manera similar, estudiamos cómo se comporta la característica D1g (absortamiento cognitivo medio grupal) en el modelo (Figura 3.36). En dicha figura se han marcado los límites verticales que separan zonas de alto absortamiento, medio y bajo, en función de HRg (L1 y L2). Dichas líneas pueden hallarse calculando el punto medio entre las coordenadas HRg de los puntos más cercanos entre clústeres adyacentes, dando el mismo resultado que una clasificador SVM (Vapnik, 1999) con vectores de soporte verticales. También se representa una línea horizontal que separa los casos donde zSDg se sitúan una desviación estándar por debajo de la media (zSDg < -1).

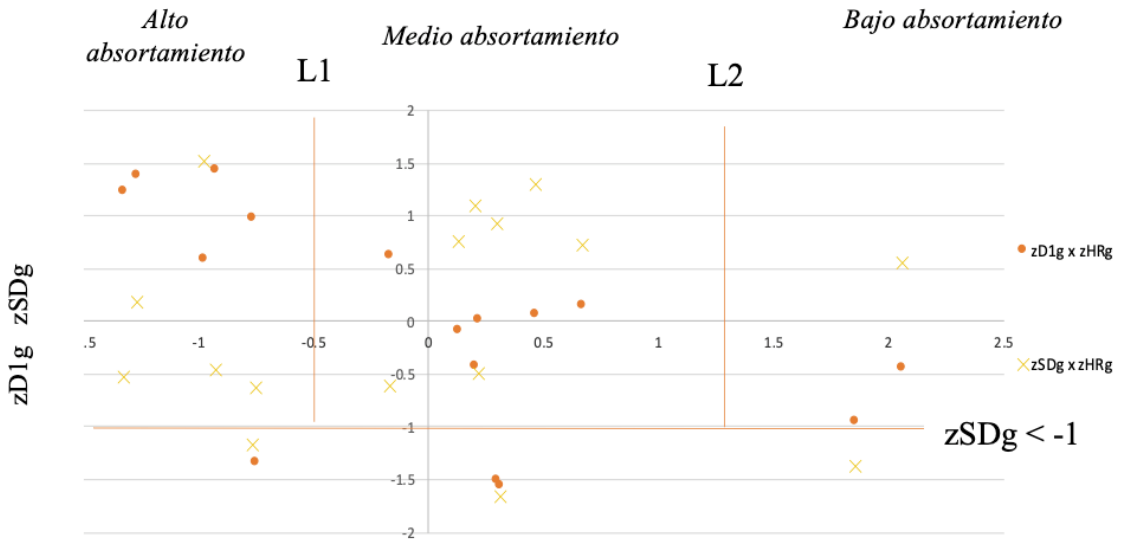


Figura 3.36. Zonas fenomenológicas de absortamiento cognitivo, definidas con las características zSDg, zD1g y zHRg. Elaboración propia

A continuación, aplicamos el algoritmo K-medias partiendo de 4 clústeres iniciales, tras observar el gráfico de sedimentación y la distribución de los puntos experimentales, empleando las características HRg, D1g (%) y SDg (Figura 3.37).

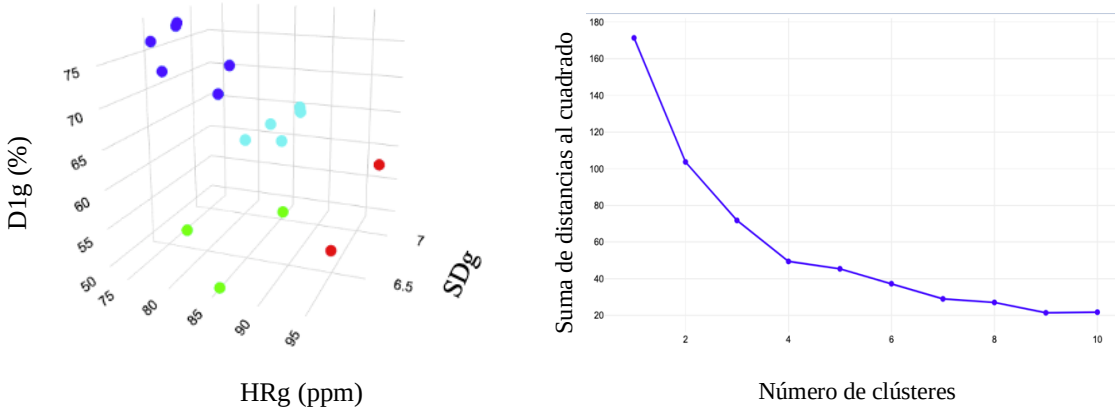


Figura 3.37. Clústeres obtenidos mediante el algoritmo K-medias, con las características HRg, D1g (%) y SDg (izquierda) y su gráfico de sedimentación (derecha). Elaboración propia

Apartamos de los cálculos las sesiones 2N5 y 3N5 por no verificarse absortamiento cognitivo y ser identificables debido a que zSDg << -1 (Figura 3.35 y tabla 3.20). En cambio, dejamos el punto experimental correspondiente a la sesión 5N5, donde zSDg < -1, en una situación límite, para no sobreajustar el modelo (Figura 3.35 y tabla 3.20). Por el contrario, el punto experimental correspondiente a la sesión 9N5 parece anómalo o resulta mal clasificado, lo cual representa, a lo sumo, un error de clasificación del 6.25% (Figura 3.37 derecha y Figura 3.36). Es por ello que definimos 4 zonas de absortamiento cognitivo (alto, medio, bajo o inexistente), separadas mediante las líneas rojas en la Figura 3.36.

Seguidamente, descontando los casos donde no verificamos *flow*, ajustamos el modelo polinómico (Figura 3.38). Considerando dicha figura, calculamos la bondad de su ajuste, en términos de R^2 = 0.8363, la media del RMSE, tras validación cruzada con 10 iteraciones (RSME = 2.85) y su desviación estándar (SD =1.88). En la ecuación [5] presentamos el modelo de regresión, donde D1g es el absortamiento cognitivo grupal de la escala EduFlow, expresado en tanto por ciento, y HRg, la media del ritmo cardiaco medio grupal del alumnado, medido durante un periodo de 5 minutos

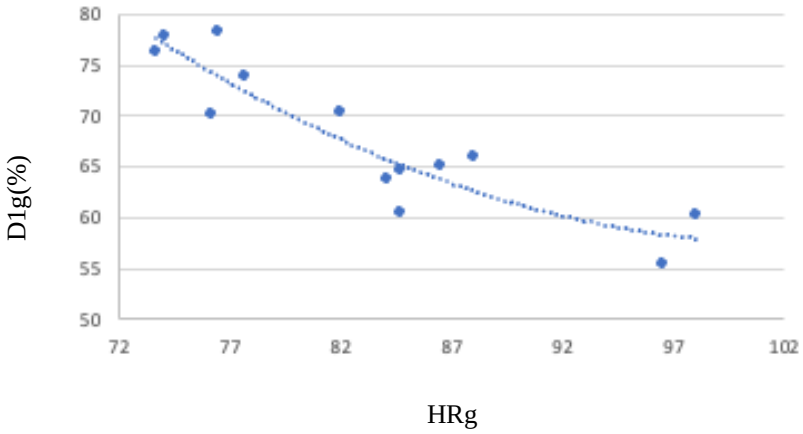


Figura 3.38. Regresión polinómica entre las características HRg vs D1g(%), descontando valores atípicos. Elaboración propia.

$$D1g = 0.024\,HRg^2 - 4.9362\,HRg + 310.75 \quad [5]$$

Paso 7. Establecemos un sistema de recomendaciones para el SATEF.

En la Figura 3.39, resumimos el proceso necesario para que el SATEF realice una recomendación.

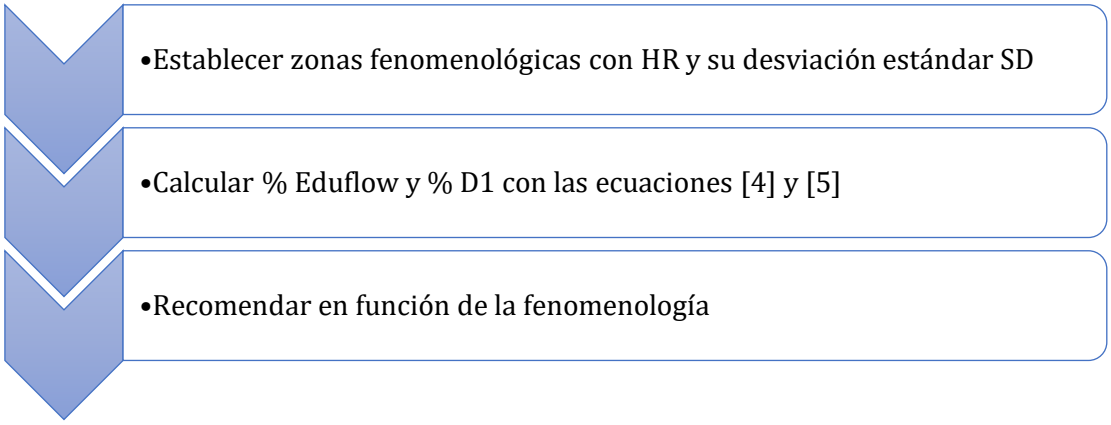


Figura 3.39. Resumen de los procesos que realiza el SATEF hasta hacer una recomendación. Elaboración propia

En la tabla 3.21, presentamos los valores límite para clasificar fenomenológicamente los puntos experimentales, junto a las ecuaciones que permitirán estimar el *flow* que declararán los grupos-clase en los cuestionarios al final de la sesión (en % de escala EduFlow) y el porcentaje de absortamiento cognitivo grupal (D1). En la tabla 3.22, presentamos el código de colores y las recomendaciones del SATEF.

Tabla 3.21. Valores límite usados por el SATEF para clasificar fenomenológicamente el estado de la clase y ecuaciones para estimar el flow (% EduFlow) y el absortamiento cognitivo (%D1). Elaboración propia.

L1 = 79.85	Límite para la zona de bajas pulsaciones medias grupales en ppm (MeanHRbpm)
L2 = 92.29	Límite para la zona de altas pulsaciones medias grupales en ppm (MeanHRbpm)
SD = 6.35	Desviación estándar límite para valores zSDg < - 1
%Flow	EduFlow = 0.0361 HR^2 - 6.5207 HR + 354.37
%D1	D1 = 0.024 HR^2 - 4.9362 HR + 310.75

Tabla 3.22. Código de colores y recomendaciones del SATEF. Elaboración propia.

Semáforo	HR	SD	Clasificación fenomenológica de flow	Recomendación grupal
Verde	Bajo	Media	Alto	Continuar igual
Ámbar	Medio	Media-alta	Medio	Ir más despacio, poner más ejemplos, calmar al alumnado
Rojo	Alto	Media-alta	Bajo	Ir mucho más despacio, poner más ejemplos, calmar al alumnado
Rojo con calavera	Alto-muy alto	Muy baja	Muy bajo	Desistir de la actividad o posponerla

Paso 8. Extraemos conclusiones.

Debemos poner de manifiesto que el modelo resulta interpretable en los términos descritos por Murdoch et al. (2019), puesto que es predictivo, descriptivo y relevante. Dicha interpretabilidad es un criterio para evaluar el sesgo de un algoritmo (Hardt, 2016; Boyd & Crawford, 2012; Datta, Sen & Zick, 2016), lo cual parece coherente con la literatura estudiada en la tesis, ya que:

1. HR es un parámetro relacionado con la activación del Sistema Nervioso Simpático (SNS). Si resulta muy elevado, la persona está nerviosa y le costará alcanzar el *flow* (c.f. de Manzano et al., 2010).

2. El *flow* tiene lugar con valores HR moderados o bajos, como indican Tian et al. (2017).

3. Si la desviación estándar del ritmo cardiaco es baja, indicará poca variabilidad; por lo tanto, aburrimiento o estrés permanentes, según sea HR, lo cual no resulta beneficioso para el *flow*.

4. Resulta muy llamativa la simetría especular con respecto al eje X que tienen las curvas de correlación de *flow*, con el factor "barreras". Dicho factor se construye a partir de parámetros relacionados con el equilibrio de la tarea (precondición para alcanzar el flow en Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1998). Puesto que el divisor (ítem A3 de la escala FKS-13) está muy próximo a 5 de media en nuestro dataset (mayoritariamente, el alumnado aprecia balance en las tareas propuestas), entonces, que la diferencia entre A1 y A2 (Challenges- Skills), resulta un factor que mide la facilidad subjetiva para llevar las actividades a cabo. Por ello, denominamos a este factor con el nombre de "barreras" o dificultades para que "la tarea se realice de manera fluida y sin esfuerzo aparente" (definición de estado de *flow* en Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1998, entre otros).

5. Eliminados los casos donde no se verifica *flow* en el modelo, encontramos que la bondad de ajuste de la ecuación polinómica entre HRg y D1g (absortamiento cognitivo medio grupal) es alta, en términos de R^2= 0.8363, con un RSME = 2.85 y desviación estándar (SD = 1.88), tras validación cruzada con 10 iteraciones. Ello supera la correlación en términos de R^2= 0.25, reportada por Tordet et al. (2021) para el estado del arte entre medidas fisiológicas y escalas de *flow*, comparable con la que se obtiene mediante observación directa. Debemos matizar, asimismo, que los cálculos se realizan en base a medias grupales por sesiones y que se extraen de los 5 primeros minutos lectivos. En consecuencia, la concentración en las tareas es mayor cuando el alumnado se muestra relajado, sin desviaciones estándar extremas en cuanto al ritmo cardiaco medio grupal, lo que parece sugerir que no se aburre ni se encuentra estresado, continuamente.

7.2.3. Descripción del panel de control del SATEF.

En la Figura 3.39, mostramos el panel de control del SATEF.

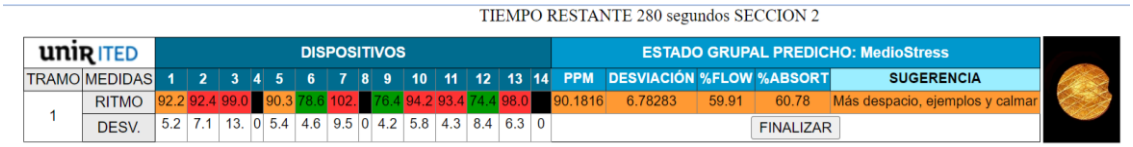


Figura 3.39. Información presentada por el SATEF sobre el panel de control. Elaboración propia.

Para describirlo, recordaremos que es obligado dividir las sesiones lectivas en tramos temporales de 5 minutos, por ser el periodo mínimo que nos permite comparar el mayor número posible de parámetros electrocardiológicos, según normas internacionales (Seppälä et al., 2014; Kuusela, 2013). Debemos matizar también, que hablamos de expectativas de experimentar *flow* en los resultados del panel, ya que, como vimos en el ciclo primero de Investigación-Acción, la correlación entre parámetros cardiacos el absortamiento cognitivo se maximiza tras los 5 primeros minutos de clase, y disminuye en los tramos sucesivos (Figura 3.27). Por ello resulta crucial conocer el tramo temporal de clase en el que nos encontramos y el tiempo restante que queda, que se muestra sobre la tabla de resumen de dicho sistema de alerta temprana, a fin de poder efectuar las acciones que nos sugiere el SATEF con suficiente antelación. De este modo, nos beneficiamos de capacidad predictiva del modelo durante los primeros tramos de sesión (concretamente, del primero). Por ello, bajo el logotipo de UNIR, a la izquierda, se identifica el tramo de sesión en el que estamos. Por encima de la tabla, en posición central, vemos una cuenta atrás de 5 minutos (expresada en segundos), para que el profesor pueda controlar cuándo volverá a tener nueva información del SATEF (Figura 3.39).

Asimismo, dentro de cada tramo de cinco minutos, el SATEF evalúa continuamente *el estado grupal predicho,* en base al ritmo cardiaco medio del alumnado en pulsaciones por minuto (ppm) y a su desviación estándar media (desviación). También ofrece una estimación del porcentaje de *flow* medio grupal (%flow) y el absortamiento cognitivo (%absort). A ello, se añade una sugerencia sencilla para el docente, en función de la fenomenología de *flow* estimada (alto *flow*, medio estrés, bajo *flow* y muy bajo *flow*). La tabla resumen utiliza un código de colores a modo de semáforo, representando el estado motivacional que, previsiblemente, manifestará el grupo al acabar la sesión (verde, amarillo y rojo), conforme a la zonación fenomenológica descrita en la Figura 3.36. Un semáforo de colores, en el

extremo izquierdo de la tabla, permite identificar el estado de *flow* grupal estimado incluso a una distancia considerable.

La Figura 3.39 también informa de los participantes individualmente. En este sentido, encontramos el ritmo cardiaco medio (ritmo) y la desviación estándar media de cada participante (desv), asociados al número asignado a cada dispositivo ponible (1-14). Cada número de dispositivo presenta la coloración acorde a la fenomenología estimada por el SATEF, salvo el negro, que da cuenta de que dicho participante no está, o el dispositivo no funciona correctamente..

7.2.4. Componentes del SATEF.

En el apartado 7.2.3, presentamos el panel de control del SATEF e ilustramos su uso. En este, describiremos los componentes de hardware y software que necesita, ilustrando cómo se relacionan entre sí. Lo haremos de manera abreviada, ya que las características concretas de los dispositivos empleados se han descrito en detalle en el capítulo 6.

Comenzaremos por aclarar que, sobre la base de la cuarta versión de la aplicación Polar H10 SDK UNIR iTED, se desarrollaran varias versiones apropiadas para utilizarse con los grupos experimentales, siendo la V7 la que finalmente se emplea en los trabajos de campo con el alumnado. En cambio, la V4 queda exclusivamente en el reloj del profesor. La primera diferencia entre estas dos versiones es que la app del alumnado no registra los datos del acelerómetro, puesto que consume recursos de poca utilidad práctica y las capacidades de los relojes son limitadas. A partir de los registros HRV recogidos en las tarjetas SD de los relojes a 1Hz se pueden realizar procesos de filtrado, extracción de parámetros cardiológicos y generación de gráficas con una versión profesional del software Kubios 3.5.0.

Además, la V7 de la app se comporta como una API de RESTFul (Fielding, 2000; Fielding & Taylor, 2002), al comunicarse mediante objetos JSON por el método post con archivos PHP en un servidor, que actúan como intermediarios con una base de datos MySQL, gracias a la una librería HTTP denominada Volley v.1.2.1 (Android Developers, 2023). La Figura 3.40, esquematiza el proceso. En este sentido, el sistema relojes-bandas deportivas, enlazados mediante bluetooth, son los clientes, realizando medidas de potencial eléctrico cardiaco de los participantes a 130 Hz. Las bases de datos y los archivos en PHP se alojan en un servidor compartido, con una tarifa económica.

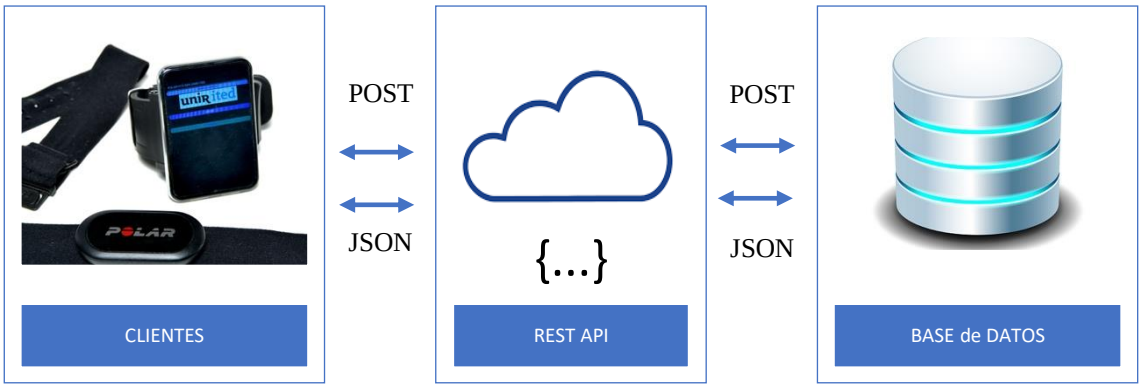


Figura 3.40. Representación esquemática de la API de RestFul implementada. Elaboración propia.

Asimismo, en el desarrollo de la V7, empleamos como información de soporte la documentación oficial de Android Developers. Igualmente, para que la aplicación funcione, hay que añadir al archivo Manifest para el desarrollo en Kotlin los siguientes permisos generales: android:usesCleartextTraffic="true". De este modo, no se generan errores en la aplicación atribuibles a la seguridad del protocolo http empleado.

Asimismo, la aplicación V7 puede producir errores cuando los relojes no están perfectamente en hora, puesto que las peticiones son rechazadas por el servidor, al no cumplirse todas las especificaciones inherentes al intercambio de objetos JSON por el método post.

Con respecto a esta nueva capacidad añadida a la V7 de la app, debemos señalar que permite a los relojes actuar de manera sincronizada para empezar a registrar datos cuando, desde el panel de control, el profesor inicia la sesión de clase. Dicho panel de control se alojó en un servidor. Dicho desarrollo específico empleó tecnologías bien conocidas como PHP, JavaScript, HTML, CSS, una base de datos MySQL y la librería JQuery 3.5.1.

Además, la V7 de la app emplea la librería Volley para persistir en tablas independientes de una base de datos MySQL el ritmo cardiaco medio y su desviación estándar, por tramos de 5 minutos, así como el número de tramo y el momento en el que se registra dicha información.

Posteriormente, desarrollamos más archivos PHP en el servidor para seleccionar los datos del ritmo cardiaco medio y la desviación estándar de cada participante en cada tramo de la sesión de clase cada 5 minutos, a fin de calcular con ellos las medias grupales. Ello se muestra en el panel informativo del SATEF (Figura 3.39).

Las comunicaciones entre los clientes y el servidor se realizan cada 5 segundos a través de un rúter de tarjeta SIM. En cambio, los registros de datos desde el panel de control del profesor (Figura 3.7) ofrecen una granularidad de 1 Hz. Puesto que las conexiones de los relojes con la base de datos se establecen cada 5 minutos y las del panel de control cada segundo, un rúter económico capaz de enlazar hasta 32 dispositivos y 130/50 Mbps de velocidad, resultó suficiente.

La Figura 3.41, resume esquemáticamente lo explicado en este apartado.

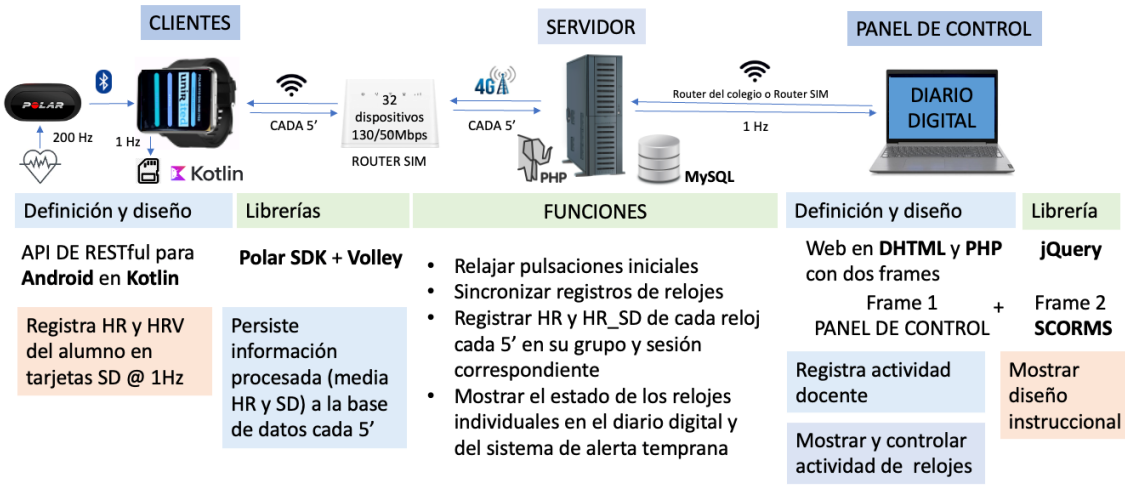


Figura 3.41. Esquema de funcionamiento de la API de RESTFul desarrollada para los grupos experimentales. Elaboración propia.

7.2.5. Juego de relajación "Masters of flow".

Debemos recordar que, antes de comenzar las clases, el alumnado ha de estar 10 minutos en reposo, debido a normas electrocardiológicas (Seppälä et al., 2014; Shaffer & Ginsberg, 2017). Para evaluar mejor este periodo, se diseña un juego de relajación denominado "*Masters of flow*". Este requiere que el alumnado tenga las bandas deportivas activadas y el SATEF esté en funcionamiento. Entonces, se solicita al alumnado que se relaje por medio de ejercicios de respiración pausada, mientras se muestra un gif animado de un corazón en la pantalla y un personaje divertido, creado mediante una web en DHTML. Con los datos que se van registrando, se realizaba un cálculo con el modelo matemático del SATEF para estimar el *flow* grupal de ese periodo de relajación. Dicho cálculo se reserva para el final de la sesión lectiva, dando paso inmediato tras el juego a la lección correspondiente en el panel de control. A continuación, se puede impartir la lección correspondiente.

Para mantener el interés en el juego, al finalizar la sesión, mostramos en el proyector de clase el resultado del juego, junto con un gif animado de un personaje antagonista. El grupo gana, empata o pierde el juego, según obtengan un semáforo verde, ámbar o rojo, en el periodo de relajación de 2 minutos previo a la clase, calculado por modelo matemático del SATEF.

7.2.6. Diario de clase.

El diario de clase utilizado en los grupos experimentales únicamente difiere del usado en los grupos de control, en que se añadió una captura de pantalla del panel de control del profesor con las indicaciones del SATEF tras los 5 primeros minutos lectivos.

7.2.7. Participantes del segundo ciclo de Investigación-Acción.

El alumnado de los grupos experimentales que portaba bandas deportivas y relojes se describe en la tabla 3.23. La nomenclatura utilizada para identificar los grupos comienza con una N, que es la inicial del colegio. El siguiente número (5 o 6), es el nivel educativo de primaria al que pertenece el grupo. Tras el guion bajo, añadimos un 2, identificativo de los grupos experimentales, puesto que se estudian en el segundo ciclo de Investigación-Acción.

Tabla 3.23. Resumen de participantes por edades en los grupos de control. Elaboración propia.

GRUPO	N	Niños	Niñas	Edad Media	Desv. Est.	Fecha	Dejan de llevar reloj
N5_2	14	7	7	10.56	0.34	30/01/2023	1 cambia de colegio
N6_2	14	5	9	11.46	0.53	31/01/2023	2 rechazan el reloj

7.2.8. Cronograma de actuaciones y secuencia instruccional del segundo ciclo de Investigación-Acción.

Las sesiones de clase con los grupos experimentales tuvieron lugar entre el 30/01/2023 y el 10/03/2023, distribuidas a un ritmo de 2 sesiones semanales. El tiempo máximo dedicado a cada sesión fue de una hora, incluyendo el protocolo de colocación de dispositivos fisiológicos, la docencia y la respuesta a los cuestionarios de *flow*. Por coherencia metodológica, seguimos las mismas secuencias instruccionales por cursos que con los grupos de control (tabla 3.3). Sin embargo, mientas que los grupos de 6º recibieron 9 lecciones, como en el grupo equivalente de control, los de 5º solo recibieron 7 (2 menos). En este sentido, las sesiones 8 y 9 de los grupos de 5º curso no pudieron realizarse, debido a que el profesor no podía actualizar las aplicaciones de escritorio de Roblox Studio, por no tener acceso a Internet del centro. Por ello, el módulo entero no pudo llevarse a cabo. Ello no permitió evaluar comparativamente dicho módulo, pero sí el de diseño gráfico en 2D. En todo lo demás, para no ser reiterativos, se siguió lo expuesto para los grupos de control (apartado 6.2.16), incluyendo las secuencias instruccionales que tuvieron contrapartida entre grupos experimentales y de control.

7.2.9. Desarrollo de las sesiones de clase.

Las sesiones de clase de los grupos experimentales se desarrollaron de igual modo que lo ya descrito para los grupos de control (aparado 6.2.17), salvo en los detalles que se van a especificar a continuación.

Debemos aclarar que el panel de control utilizado en el primer ciclo de Investigación-Acción y el segundo es distinto. Concretamente, en los grupos experimentales, se establecía una actividad de relajación guiada en forma de juego durante dos minutos, previo a la lección, denominado “Masters of Flow” (ver apartado 7.2.3). Además, en la parte superior del panel de control, aparecía cada 5 minutos un cuadro resumen del Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow en el Aula (SATEF), ya citado.

Además, tanto los relojes inteligentes como el ordenador del profesor se conectaban a Internet por medio de un rúter con tarjeta SIM. Esto es debido a que los protocolos de conexión a Internet que establecieron las autoridades de la Junta de Andalucía durante el segundo año de investigación requerían usuario y contraseña individual. Puesto que solo se emitían una clave y acceso por usuario y el profesor no tenía ninguna, era completamente imposible conectar los relojes inteligentes sin un rúter propio.

7.3. Resultados del segundo ciclo de Investigación-Acción.

Este apartado de la tesis está afectado por las especiales limitaciones éticas que implica el trabajo con pruebas de fisiología que pudieren ser interpretadas como datos de carácter personal, más todavía, cuando trabajamos con menores.

Recordemos que los grupos de 5º curso siguen un programa STEAM sobre diseño gráfico, mientras que los grupos de 6º lo hacen sobre robótica educativa artística. El grupo de diseño gráfico solo pudo dar 7 de 9 lecciones programadas, ya que las 2 últimas, sobre Roblox Studio, no pudieron realizarse, por falta de acceso a Internet. Ello no impide que podamos comparar los resultados del módulo de diseño 2D, que están completos.

En este capítulo, separamos los resultados por fase metodológica (pretest y docencia), haciendo referencia a los instrumentos y herramientas de recogida de datos empleados. En consonancia, presentaremos los resultados obtenidos en el pretest. Ello supone resumir la asistencia a clase, cómo evolucionan los niveles de flow, medidos en la escala EduFlow, por sesiones.

7.3.1. Resultados pretest: conocimientos iniciales, propensión al flow (SFPQ) y estilo de aprendizaje en los grupos experimentales.

En este apartado, presentamos los resultados de las pruebas que se realizaron en la fase pretest con los dos grupos experimentales. Consistieron en los mismos test de conocimientos propuestos a los grupos de control (anexos 9 y 10). También se completaron escalas SFPQ (anexo 6), para determinar la propensión a experimentar *flow*, así como test de Felder (anexo 5), para determinar el estilo de aprendizaje preferente, como se describe en los subapartados 5.5.1. 5.5.2 de esta tesis.

Con respecto a los conocimientos iniciales de ambos grupos y en las dos temáticas trabajadas (diseño 2D y robótica educativa), devolvieron los exámenes en blanco, salvo 3 casos, donde respondieron al azar, alguna cuestión. Al preguntar las razones al alumnado, afirmaron que no sabían responder las preguntas. Esperado el tiempo previsto para el examen, se procedió a retirar los cuestionarios. En este sentido, los participantes no demostraron tener conocimientos iniciales en las materias que íbamos a impartir.

A continuación, mostramos de manera sumaria en la tabla 3.24 los resultados obtenidos para el cuestionario sueco de propensión al *flow* (SFPQ) en los grupos experimentales (n=25). Consta de las mismas 7 cuestiones, referidas a ámbitos distintos de la vida de los participantes (escuela, rutinas y ocio), contestadas con escalas Líkert de 5 puntos, y que se obtiene como resultado la suma de los ítems (SFPQ). Normalizamos en Z dichos valores, encontrando que solo 1N6_2 pudiera tener riesgo de baja propensión a experimentar *flow*, respecto de los grupos experimentales.

Tabla 3.24. Resultados del test SFPQ en los grupos experimentales. Elaboración propia

ID	SFPQ	Z SFPQ
1N5_2	82	0.86275
2N5_2	78	0.50025
3N5_2	84	1.044
4N5_2	84	1.044
5N5_2	71	-0.13412
6N5_2	83	0.95337
8N5_2	75	0.22837
9N5_2	81	0.77212
10N5_2	77	0.40962
11N5_2	76	0.319
12N5_2	60	-1.131
13N5_2	52	-1.856
14N5_2	84	1.044
1N6_2	50	-2.03725
2N6_2	89	1.49712
3N6_2	65	0.67787
4N6_2	70	-0.22475
5N6_2	78	0.50025
8N6_2	81	0.77212
9N6_2	71	-0.13412
10N6_2	62	-0.94975
11N6_2	79	0.59087
12N6_2	63	0.85912
13N6_2	62	-0.94975
15N6_2	55	-0.58412

También exponemos gráficamente los resultados del test de Felder en los grupos experimentales (Figura 3.42). Recordemos que el diseño instruccional se ajustó para un estilo de aprendizaje Activo-Visual-Sensitivo-Secuencial, al estimar que el alumnado se encuentra en el periodo de las operaciones concretas (Piaget & Inhelder, 2016).

A tal efecto, elaboramos cuatro gráficas. Computan dicotómicamente las puntuaciones de las dimensiones Activo-Reflexivo, Visual-Verbal, Sensitivo-Intuitivo y Secuencial-Global, con valores positivos para el primer parámetro de las gráficas, y negativos para el segundo.

En los gráficos se aprecia el predominio de los puntos experimentales en la mitad superior de los mismos y que, en el caso de aparecer valores negativos (contrarios al diseño instruccional propuesto), no presentan valores extremos, que pudiesen significar especiales dificultades para adaptarse a otro estilo de aprendizaje, salvo 4N5_2, que presenta tendencia a la reflexividad. De nuevo, también para los grupos experimentales, observamos una consistencia respecto a un estilo de aprendizaje preferente en niñas y niños de estas edades, que contrasta con la mayor variabilidad observada en adultos (c.f. Ramírez & Rosas, 2014). Todo ello, informa de la idoneidad del diseño instruccional elegido, también para los grupos experimentales.

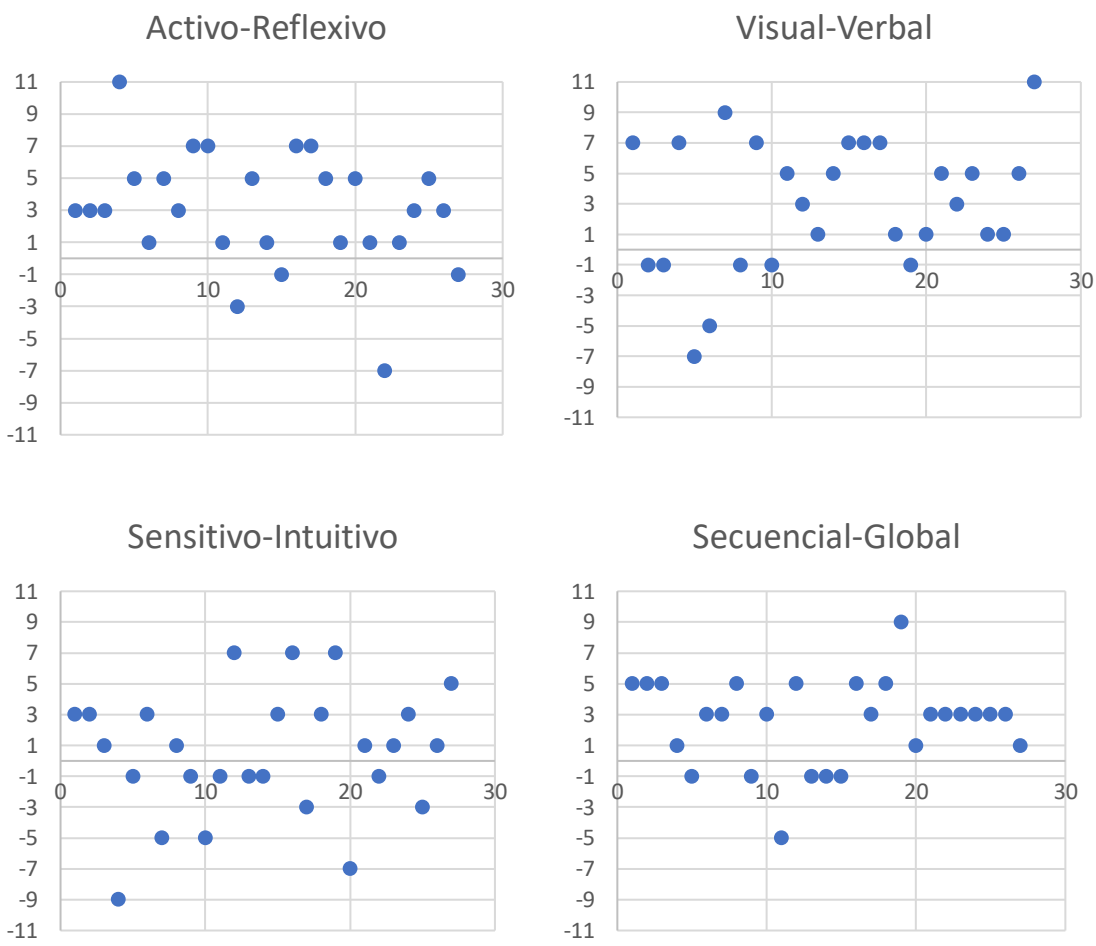


Figura 3.42. Resultados del Test de Felder en los grupos de control. Se exponen los resultados para las dimensiones Visual-Verbal, Secuencial-Global, Sensitivo-Intuitivo y Activo-Reflexivo, en el sentido de las agujas del reloj. Elaboración propia.

7.3.2. Resultados en los grupos experimentales en la fase de docencia.

En este apartado, resumimos los resultados obtenidos en los grupos experimentales durante la fase de docencia, que tuvieron lugar durante el segundo ciclo de Investigación-Acción. Corresponden a los grupos N5_2 y 6N_2, cuyas siglas indican el curso al que hacen referencia (5º o 6º), y el 2, al ciclo de Investigación-Acción del que se trata.

Para ello, presentaremos un resumen de lo más destacado del diario del profesor, la asistencia a clase, así como una comparativa temporal de las respuestas medias a las escalas EduFlow con los grupos de control.

7.3.2.1. Resumen del diario de clase de los grupos experimentales.

Lo más destacable del diario de clase en los grupos experimentales es que el profesor fue añadiendo capturas de pantalla de los informes del SATEF, tras los 5 primeros minutos lectivos, así como registrando las decisiones informadas que tomaba y mantenía para el resto de la lección, A fin de resumir dichas capturas de pantalla, empleamos la tabla 3.25. En ella, se muestran las sesiones correspondientes a las capturas de pantalla salvadas por el docente, el número de participantes (n), las medias HRg y SDg que se introducen en el modelo matemático, los códigos de colores obtenidos, el estado de flow esperable del grupo y la decisión informada adoptada.

También, en el diario, hay referencias a que no le era posible atender a los informes individuales del SATEF a la vez que daba clase, ya que el alumnado le requería ayuda directa, la cual era prioritaria, y no le quedaba tiempo para ello, máxime, cuando debía reducir el ritmo de las lecciones.

Tabla 3.25. Resumen de las capturas de pantalla del SATEF. Elaboración propia.

Grupo y sesión	n	HRg	SDg	Código de colores del SATEF	Decisión adoptada
5N2_1	11	94.3267	7.32574	Alto estrés	Repetir dos veces las explicaciones
5N2_2	11	90.9864	6.94025	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
5N2_3	7	92.1662	7.55114	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
5N2_4	12	98.9961	8.37969	Alto estrés	Repetir dos veces las explicaciones
5N2_5	11	94.7481	6.05265	Desistir	Detener la clase para advertir al alumnado y repetir después dos veces las explicaciones
5N2_6	10	92.9033	7.06608	Alto estrés	Repetir dos veces las explicaciones
5N2_7	12	90.1186	6.31660	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_1	11	86.0230	4.89517	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_2	13	83.8185	5.75694	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_3	11	90.1816	6.78283	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_4	13	85.1023	6.94385	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N_2_5	12	90.7222	5.13351	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_6	10	83.1200	5.33872	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_7	12	85.9861	6.51725	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones
6N2_8	10	88.5583	6.20375	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones

6N2_9	11	91.2172	8.07393	Estrés medio	Repetir una vez las explicaciones

Con respecto al juego "Masters of Flow", el profesor reporta que la mayoría del alumnado seguía las indicaciones para relajarse de manera monitorizada durante los dos minutos inmediatamente anteriores al comienzo de las lecciones. En cambio, nunca vencieron al enemigo común; a lo sumo, empataron. Sin embargo, sí tenía la sensación de que comenzaron más calmados las sesiones que los grupos de control.

También, con respecto al SATEF, el maestro refleja en el diario que nunca se dieron semáforos grupales en verde.

En cualquier caso, el SATEF siempre condicionó el estilo de enseñanza del profesor, haciéndole ir más despacio. Por consiguiente, en aras de que las actividades practicadas en los grupos experimentales fuesen las mismas que en el grupo de control, tenía que repetir las explicaciones y los ejemplos, sin que lo requiriese el alumnado. No hay constancia de que hubiera quejas del alumnado al respecto.

Este cambio de actitud también tuvo otro reflejo importante en el diario de clase, puesto que el profesor informa de que tenía que desplazarse menos por el aula y se sentía más calmado también.

Igualmente, se hacen referencias a que el alumnado no quería abandonar la clase en ambos grupos experimentales, incluso cuando hubiese planificado un recreo después, o Educación Física, una de sus asignaturas preferidas, lo cual informa de la gran aceptación de los cursos.

También reporta el profesor que recibía continuas muestras de afecto.

Tampoco se informa de especiales dificultades técnicas de los equipos de registro de datos, que funcionaron a la perfección, pero que, accidentalmente, pudo desconectarlos el alumnado, en contadas ocasiones (5). Además, hubo que apagar 3 equipos, debido a que el alumnado pidió ir al servicio. Ello informa de una limitación de estos métodos en contextos educativos reales.

Por otra parte, a causa de que la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía impuso un acceso identificado a Internet, no fue posible usar la red Wi-Fi con ninguno de los grupos. En este sentido, el empleo de un rúter de tarjeta SIM fue más que suficiente para permitir el correcto funcionamiento de las API de RestFul en todos los relojes (15). También, para dar acceso a Internet al profesor, mostrando sus contenidos en SCORM, el panel de control y a las aplicaciones que lo requiriesen. No hubo pérdidas de datos de ninguna clase ni latencias destacables, según el diario.

Finalmente, la falta de acceso a una red de banda ancha, impidió al grupo N5_2 practicar diseño 3D con Robox Studio, ya que el alumnado, incluso con las claves de acceso, no podía entrar en la aplicación o no podía actualizarla. En ese sentido, el diario refleja que se optó por abandonar definitivamente la lección.

7.3.2.2. Resumen de asistencia en los grupos experimentales.

Resumimos la asistencia de los grupos experimentales, en la tabla 3.26, diferenciando la asistencia por temáticas. Reportamos en la misma, además, el número de veces que asiste el alumnado, la frecuencia con la que sucede y su expresión porcentual.

Tabla 3.26. Asistencia del alumnado que lleva reloj en los grupos de control por temáticas. Elaboración propia

Grupo N5_2 (solo diseño 2D)		
Veces que asisten	**Frecuencia**	**Porcentaje de asistencia**
5	2	71.74
6	10	87.71
7	3	100

Total (n) = 14

Grupo 6N_2 (Robótica)		
Veces que asisten	**Frecuencia**	**Porcentaje de asistencia**
8	6	100
9	8	88.99

Total (n) = 14

Además, si bien existen faltas justificadas por enfermedad o fiestas locales, no existen abandonos voluntarios. Esta métrica es significativa en Analíticas de Aprendizaje (Banihashem et al., 2018; Hernández-de-Menéndez et al., 2022), puesto que informa de que los cursos son bien recibidos, al ser la presencia voluntaria, así como del nivel de implicación.

De la tabla 3.26, se deduce que hubo faltas de asistencia en ambos grupos experimentales. En cambio, en robótica, hay una asistencia mínima de 4 sesiones, aunque mayoritariamente el alumnado asiste entre 9 y 8 veces de 9 posibles (88.99 y 100% de los casos, respectivamente). Contrariamente, solo 3 alumnos no tuvieron ausencias en diseño 2D (grupo 6N_1), lo cual representa mayor grado de compromiso de estos últimos (57.14% de los casos sin ausencias, frente al 15.38%).

7.4. Discusión de resultados del segundo ciclo de investigación-acción (grupos experimentales).

En este apartado, valoramos los resultados del segundo ciclo de Investigación-Acción.

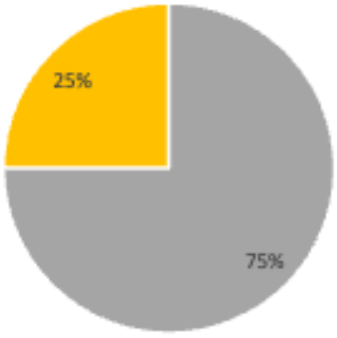
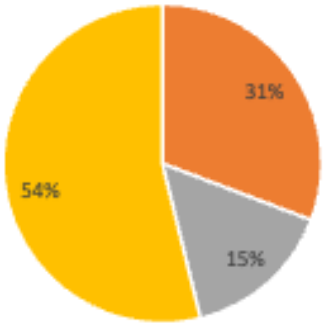
7.4.1. Valoración del rendimiento educativo en los grupos experimentales.

A continuación, mostramos los resultados de los exámenes de ambos grupos experimentales. No nos extenderemos en exceso, para no ser redundantes, puesto que se compararán en detalle, en una síntesis final, respecto de los grupos de control, lo cual es más valioso.

En la tabla 3.27, se recogen los resultados de las pruebas de conocimientos que el alumnado respondió en postest, sabiendo que, ambos grupos, obtuvieron 0 puntos de 10 en el pretest.

En la misma tabla, ilustramos con gráficos de sectores circulares los resultados para cada grupo y temática; diseño 2D (N5_2) y robótica (N6_2). También, los participantes que asistieron a ambos exámenes, para hacer la comparativa, las calificaciones máximas, medias y mínimas sobre 10, así como las desviaciones estándar. Igualmente, su transposición en términos de insuficiente (nota < 5), suficiente (nota = 5), bien (nota = 6), notable (nota ente 7 y 8) y sobresaliente (nota > 9), que se usa redondeando la calificación sobre 10 al entero superior, en el sistema educativo español.

Tabla 3.27. Comparativa de resultados en los exámenes postest entre los grupos experimentales. Elaboración propia.

GRUPOS EXPERIMENTALES	
Diseño 2D (N5_2)	**Robótica (N6_2)**
	
Calificaciones sobre 10	
n = 12 Máximo = 10.00 Mínimo = 6.70 Media = 7.7 SD = 1.11	n =13 Máximo = 10.00 Mínimo = 5.56 Media = 7.69 SD = 1.78
Valoración sobre 10	
9.00	9.54
Leyenda común: ▪ Bien ▪ Notable ▪ Sobresaliente	

Por lo anterior, se aprecia que hay algunas calificaciones perfectas en ambos grupos y ningún suspenso. También, notas medias elevadas e idénticas en ambos grupos (notable alto), a pesar de las diferentes temáticas STEAM trabajadas, pero mayor desviación estándar en el grupo de robótica, frente al de diseño. Esto puede deberse a que hay claramente más sobresalientes en robótica que en diseño (54% frente al 25%).

7.4.2. Discusión de resultados obtenidos del Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF).

En este apartado, vamos a estudiar en qué medida el empleo del SATEF influye en el *flow* reportado por el alumnado en los cuestionarios. Para ello, combinamos los parámetros necesarios, en la tabla 3.28. En ella, hemos señalado el grupo de referencia y numerado las sesiones para identificarlas fácilmente en los gráficos. Además, recordamos que este sistema de alerta temprana muestra un sumario al profesor en el panel de control, cuyas recomendaciones aplica a lo largo del resto de cada sesión. Por ello, también añadimos el número de relojes activo en ese momento (n), la media grupal del ritmo cardiaco durante ese tramo de 5 minutos (HRg) y la media de la desviación estándar media de los participantes en el tramo (SDg). Asimismo, se incluye la clasificación fenomenológica del estado de la clase respecto al *flow* (4 posibles estados), la cual condujo siempre al profesor a reducir el ritmo de la lección con distintos grados de intensidad. Finalmente, agregamos el *flow* medio grupal estimado por el SATEF tras el primer tramo de 5 minutos de cada lección, la media grupal de *flow* medido en los cuestionarios (ambos en tanto por ciento de la escala), y la diferencia entre la estimación del sistema de alerta temprana y lo realmente contestado a través de cuestionarios EduFlow, al finalizar la sesión.

Tabla 3.28. Resumen de datos del SATEF tras el primer tamo de 5 minutos de clase por sesiones y de las escalas EduFlow, al finalizarlas. Elaboración propia.

Grupo	n	HRg	SDg	Clasificación SATEF	EduFlow SATEF (%)	Eduflow escalas (%)	Diferencia
5N2_1	11	94.3267	7.32574	Alto estrés	60.4946	83.22511	-22.7305082
5N2_2	11	90.9864	6.94025	Estrés medio	59.9297	78.35498	-18.4252784
5N2_3	7	92.1662	7.55114	Estrés medio	60.0372	81.61376	-21.5765566
5N2_4	12	98.9961	8.37969	Alto estrés	62.6343	82.23443	-19.6001322
5N2_5	11	94.7481	6.05265	Desistir	60.6231	78.47985	-17.8567535
5N2_6	10	92.9033	7.06608	Alto estrés	60.1554	77.87698	-17.7215841
5N2_7	12	90.1186	6.31660	Estrés medio	59.9148	77.77778	-17.8629778
6N2_1	11	86.0230	4.89517	Estrés medio	60.5782	70.79365	-10.2154508
6N2_2	13	83.8185	5.75694	Estrés medio	61.4367	71.51361	-10.0769054
6N2_3	11	90.1816	6.78283	Estrés medio	59.9141	73.26007	-13.3459733
6N2_4	13	85.1023	6.94385	Estrés medio	60.8941	69.55782	-8.6637231
6N_2_5	12	90.7222	5.13351	Estrés medio	59.9194	70.13889	-10.2194889
6N2_6	10	83.1200	5.33872	Estrés medio	61.7819	61.50794	0.2739635
6N2_7	12	85.9861	6.51725	Estrés medio	60.5897	62.17949	-1.5897872

6N2_8	10	88.5583	6.20375	Estrés medio	60.0248	63.31169	-3.2868883
6N2_9	11	91.2172	8.07393	Estrés medio	59.9429	64.92674	-4.9838399

En primer lugar, tuvimos en cuenta las estimaciones del *flow* grupal en base a la Ecuación [7], que forma parte del SATEF ya discutido:

$$Flow = 0.0361\ HRg^2 - 6.5270\ HRg + 354.37\ [7]$$

Dicha ecuación estima el *flow* medio grupal como porcentaje de escala EduFlow a partir del ritmo cardiaco medio grupal (HRg) en el primer tramo de 5 minutos de la sesión. Al calcular la diferencia de las medidas entre el *flow* estimado y el realmente obtenido mediante cuestionarios, observamos diferencias negativas muy importantes en 13 de 14 sesiones en ambos grupos experimentales. Concretamente, el error medio es de -12.37$\pm$7.36 %, con valores que van desde -22.77% a 0.27%, como se aprecia en la Figura 3.43. Debemos notar en lo sucesivo que, en todas las ocasiones, el SATEF recomendó aminorar el ritmo de las lecciones, repitiendo explicaciones y ejemplos, con mayor o menor grado de intensidad. Hay que tener en cuenta que pudo haber recomendado actuar del mismo modo que se hizo con los grupos de control, si la clasificación fenomenológica hubiese sido "alto flow".

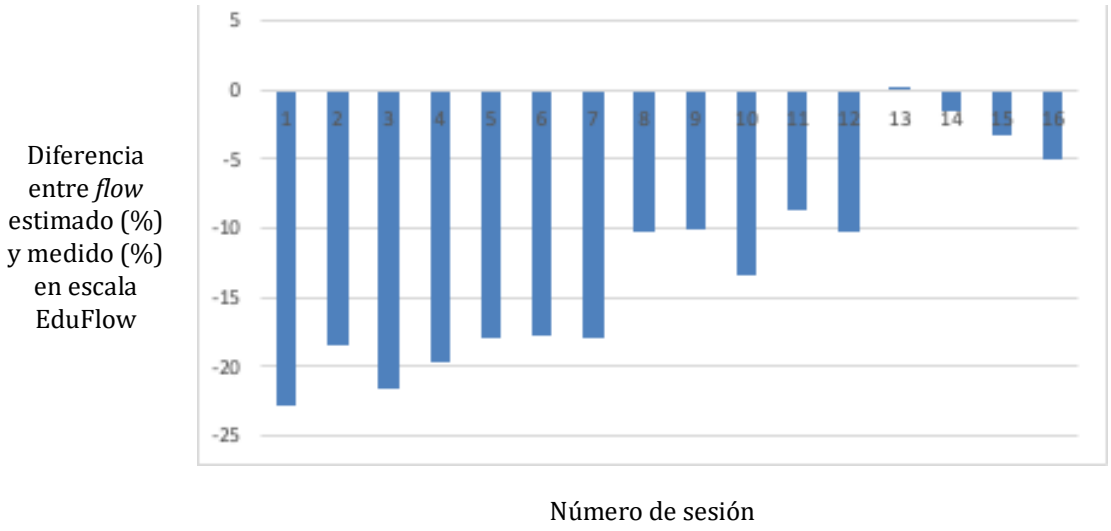


Figura 3.43. Diferencia entre el flow medio grupal estimado por el SATEF tras los primeros 5 minutos de clase y el medido con cuestionarios al final, ambos como tantos por ciento de la escala EduFlow. Elaboración propia.

Asimismo, generamos un histograma de frecuencias con las diferencias mostradas en la Figura 3.43, obteniendo una distribución bimodal y asimétrica (Figura 3.44). Existe una moda a la izquierda, de 5 sesiones, para diferencias de entre -20% y -15% y otra moda de 3 sesiones, para diferencias de entre -5% y 0%. Cabe destacar, respecto a la moda con menor frecuencia (derecha), que caracteriza las sesiones donde se practicaba robótica con circuitos electrónicos (dos últimos módulos de robótica).

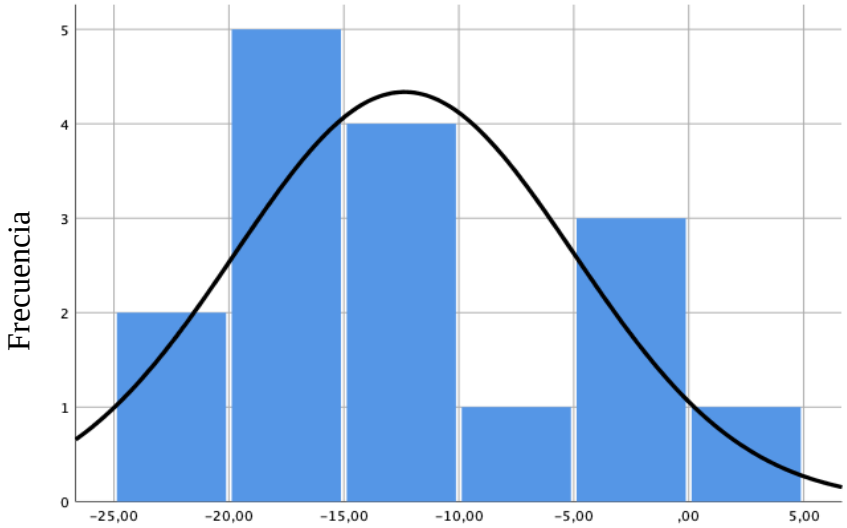


Figura 3.44. Histograma de frecuencias para la diferencia de medidas entre el flow medio grupal estimado por el SATEF tras los 5 primeros minutos de cada sesión y el determinado con cuestionarios EduFlow, al final. Elaboración propia

Ante tal disparidad, llevamos a cabo con SPSS dos pruebas de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) para las variables HRg (*est.=0.967; gl=16, Sig. = 0.789*) medida tras los 5 primeros minutos de clase en los grupos experimentales, y el porcentaje grupal medio de *flow* determinado con la escala EduFlow al finalizar la sesión (*est.=0.928, gl =16, Sig. = 0.223*), encontrando normalidad en ambas distribuciones. Por consiguiente, es posible ejecutar una correlación de Pearson con significación bilateral (Pearson, 1920; Rodgers & Nicewander, 1988), para comenzar a explorar la fuerza, sentido, tamaño del efecto, significatividad y potencia de la posible correlación entre las variables de estudio (c.f. Morales Vallejo, 2008). A continuación, realizamos un gráfico de dispersión con ambas variables, lo cual se muestra en la *Figura 3.45.* En ella, marcamos en distintos tonos los puntos correspondientes a los grupos experimentales de diseño 2D y robótica. Seguidamente, ajustamos mediante regresión lineal el conjunto completo de puntos experimentales y obtenemos una ecuación con correlación positiva entre las variables, que presenta un ajuste en términos de R^2 = 0.5445 (*n= 16, Sig. = 0.001*), la cual explica el 74% de la varianza. Además, la correlación entre las variables es positiva y, por consiguiente, está invertida con respecto a la que se obtendría al aplicar la Ecuación [2].

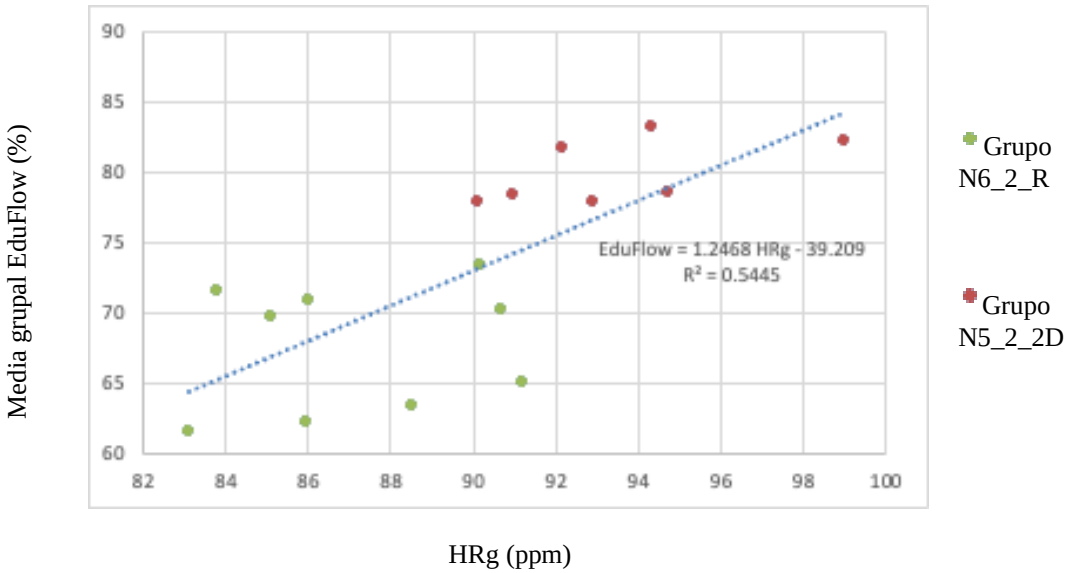


Figura 3.45. Correlación entre la el ritmo cardiaco medio del alumnado durante el primer tramo de 5 minutos obtenidos con el SATEF y la media grupal de los cuestionarios EduFlow a posteriori de cada sesión. Elaboración propia.

Además, usamos el paquete estadístico gratuito G Power v.3.1. (Faul et al., 2007), para calcular el tamaño del efecto y la potencia estadística de la correlación, para un α= 0.01 y dos colas. Así, encontramos que el tamaño del efecto (0.8590693) es grande (c.f. Cohen, 1988). Además, la potencia estadística de la prueba (0.9842854) supera el límite establecido en 0.80, lo cual permite hacer generalizables a otros contextos los resultados obtenidos (Ellis, 2010), a pesar del pequeño tamaño relativo de casos (n= 16).

También en la Figura 3.45, observamos que los puntos experimentales de los grupos de robótica ocupan la parte más alta de la recta de ajuste, mientras que los de diseño, se encuentran en la inferior. No obstante, con respecto al grupo de robótica, aparecen 4 puntos experimentales perfectamente alineados en el cuadrante inferior derecho que se apartan más que el resto de la línea de regresión graficada. Dichos puntos experimentales, pertenecen a los módulos 2 y 3 de robótica, donde es necesario montar circuitos electrónicos y no solamente seguir paso a paso en el proyector cómo programar en Scratch. Corresponden, por consiguiente, a la distribución modal de la derecha en la Figura 3.44. En la *Figura 3.46,* mostramos las correlaciones lineales obtenidas al separar ambos subgrupos.

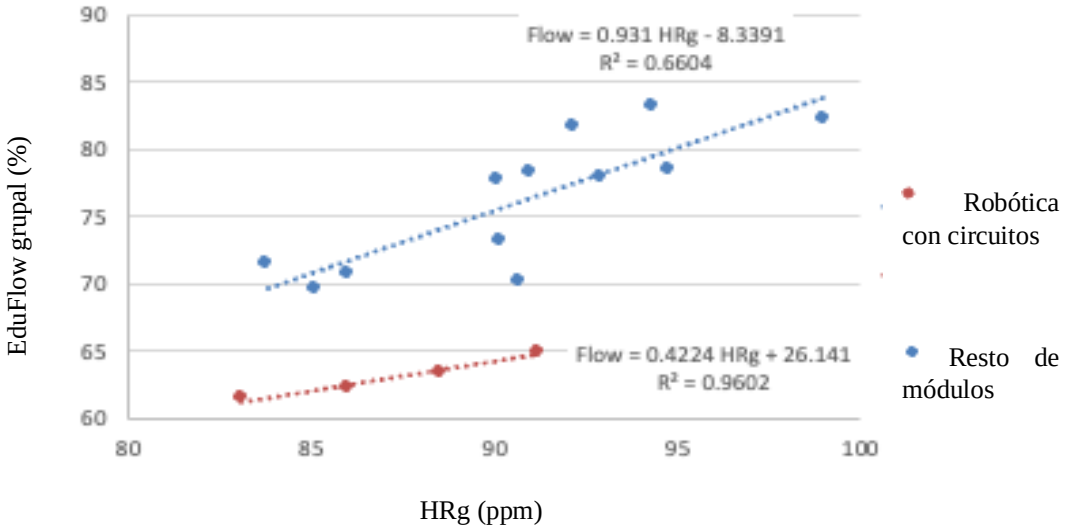


Figura 3.46. Correlaciones lineales obtenidas entre HRg y el flow grupal, para los grupos que practican robótica con circuitos frente al resto de módulos STEAM. Elaboración propia

En este sentido, encontramos un ajuste lineal en términos de $R^2 = 0.9602$, para los módulos de robótica con circuitos, y $R^2 = 0.6604$, en el resto de temáticas STEAM practicadas por los grupos experimentales. Dichos ajustes permiten explicar el 97.99% y el 81.26% de la varianza, respectivamente y son significativas para un $\alpha = 0.01$.

Siguiendo la misma postura conservadora respecto a preservar la autenticidad de resultados de esta tesis al máximo, no se eliminan valores que pudieran considerarse atípicos de las ecuaciones de ajuste. No obstante, vemos que podría haber uno en la parte central del gráfico, entre las dos rectas de ajuste (Figura 3.46). Si se eliminase, el ajuste lineal de la ecuación calculada como R^2 para las temáticas STEAM que no requieren montaje de circuitos, se elevaría a 0.7703, representando el 87.76% de la varianza explicada.

Por todo lo anterior y, concluyendo, *estos resultados pueden considerarse alentadores. Comparativamente, Tordet et al. (2021) comunican que, en el estado del arte actual, las correlaciones entre medidas fisiológicas y escalas de flow para individuos aislados son coherentes con las encontradas usando una escala de medida de flow por observación directa (FOG), arrojando un r= 0.45. En el caso menos favorable (consideramos todo tipo de actividades STEAM), determinamos mediante correlación lineal que r = 0.74, es decir, pasamos de una correlación moderada a alta (c.f. Rowntree, 1984), aunque tomando grupos de personas. Asimismo, la correlación entre HRg y la media grupal de flow tras los 5 primeros minutos es significativa (Sig. = 0.001), con un tamaño del efecto grande (p = 0.86) y potencia estadística grande ($1 - \beta$= 0.98), considerando un número de casos modesto (n=16).* No obstante, contamos con 16 sesiones lectivas de las que se aprovecha al menos media hora, con temáticas y actividades variadas, registrando datos cardiacos de hasta 14 participantes a la vez, con una frecuencia de 130 Hz por usuario. Ello sitúa nuestro estudio entre los más largos encontrados en la revisión literaria de esta tesis, investigando en un contexto real actividades cognitivamente complejas (ver capítulo 2.8 sobre métodos fisiológicos). *Si comparamos lo sucedido con los grupos de control (r= 0.68), donde ya se observaron mejoras en las correlaciones con respecto al estado del arte actual en la determinación del flow mediante fisiología o por observación (r= 0.45, según Tordet et al., 2021), se supera la nueva correlación de referencia, en los grupos experimentales (r=0.74).*

En cuanto a la diferenciación por grupos según las actividades STEAM practicadas, las *correlaciones serían casi perfectas, para quienes realizan robótica con circuitos ($r=0.98$, Sig. $= 0.02$; $p = 0.99$; $1 - \beta = 0.93$; $n = 4$; $\alpha = 0.05$) y muy altas ($r = 0.81$; Sig. $= 0.001$; $p = 0.91$; $1 - \beta = 0.99$; $n = 12$; $\alpha = 0.01$), para quienes desarrollan otras actividades STEAM (c.f. Rowntree, 1984).* Por consiguiente, las dos correlaciones son significativas, presentan gran tamaño del efecto y potencia estadística.

No obstante, no solo encontramos mejoras significativas en los ajustes de las correlaciones entre medidas fisiológicas y escalas de *flow* cuando consideramos grupos de personas, sino que, la inversión en el sentido de las correlaciones obtenidas respecto a los grupos de control, es manifiesta y, hasta cierto punto, inesperada. La complejidad de este aspecto de los resultados parece estar causada por el uso del SATEF.

CAPÍTULO 8. RETROSPECTIVA DE LOS DOS CICLOS DE INVESTIGACIÓN-ACCIÓN.

La naturaleza recursiva de la Investigación-Acción, obliga a hacer retrospectiva de los dos ciclos descritos para responder a las preguntas de investigación, extraer conclusiones relevantes, e identificar nuevos problemas y preguntas, para iniciar ciclos posteriores (Elliot, 2000; Stenhouse, 1984).

Por consiguiente, en este capítulo, comenzaremos valorando las diferencias de rendimiento educativo entre los grupos experimentales y los de control, para dar respuesta al objetivo específico (OE3).

Posteriormente, compararemos los resultados obtenidos con el SATEF en clave de niveles de rendimiento (OE3) y bienestar (OE4), respondiendo al objetivo general (OG).

Para concluir, se presentarán hipótesis o cuestiones a evaluar en posteriores ciclos de Investigación-Acción.

8.1. Discusión de resultados grupales de las escalas y EduFlow en los grupos experimentales frente a los de control.

En esta sección, comenzaremos por mostrar las medias grupales del *flow* manifestado por el alumnado en cada grupo-clase, así como las desviaciones estándar. Lo resumimos en la tabla 3.29, que se expresan en la escala porcentaje de escala EduFlow, así como en la dimensión absortamiento cognitivo (D1).

Tabla 3.29. Porcentajes medios grupales de flow declarados como escala EduFlow y Absortamiento cognitivo (D1) en los 4 grupos investigados, y sus desviaciones estándar. Elaboración propia

	Grupo N5_1		**Grupo N5_2**		**Grupo N6_1**		**Grupo N6_2**	
Escala	Flow (%)	D1 (%)	Flow (%)	D1(%)	Flow (%)	D1 (%)	Flow (%)	D1 (%)
Media	40.7	29.6	57.5	51.7	42.3	44.4	42.7	41.8
SD	3.5	4.6	5.9	13.3	6.4	11.2	3.8	10.6

Posteriormente, mostraremos los resultados de rendimiento educativo en los grupos experimentales, de manera abreviada. También comparemos los resultados de las entrevistas y los exámenes.

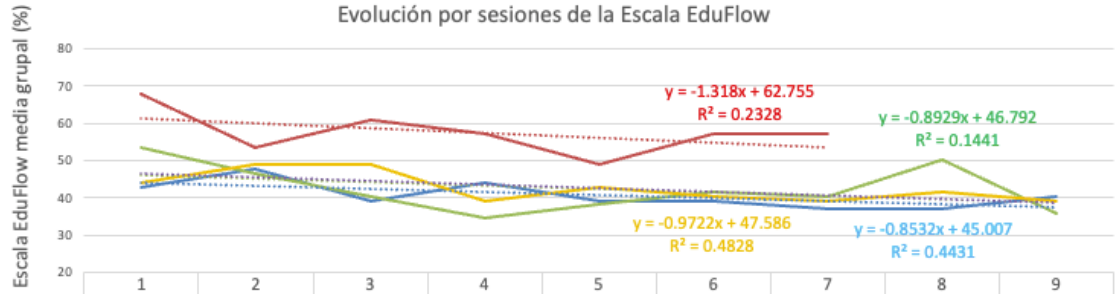
Asimismo, valoraremos el rendimiento educativo y niveles de bienestar de los participantes en este ciclo, respecto del segundo. Con ello, respondemos a los objetivos específicos de investigación *OE3* y *OE4,* respectivamente. Además, valoramos el desempeño del SATEF (Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow), para dar respuesta al objetivo secundario de investigación *OE2*.

Respecto a la tabla 3.29, se aprecia netamente más *flo*w promedio en el grupo experimental N5_2 (57.5%), y porcentajes similares en los demás grupos. En cambio, el porcentaje de absortamiento cognitivo manifestado es, nuevamente, mayor en el grupo experimental que

practica diseño gráfico (51.7%), que en los demás pero, esta vez, sí es notablemente menor el absortamiento en el grupo de control que practica la misma disciplina STEAM (29.6%).

Además, vamos a presentar los resultados de la evolución temporal de las medias grupales en porcentaje de escala EduFlow en los grupos de experimentales respecto a los de control, para no ser reiterativos y obtener también una visión de conjunto (Figura 3.47). Además, compararemos cómo evoluciona la dimensión D1 (Absortamiento cognitivo), también como porcentaje de escala expresada como dimensión EduFlow (Figura 3.44). En ambas gráficas, damos colores rojo y amarillo a los grupos experimentales (N5_2 y N6_2, respectivamente), y azul y verde, a los grupos de control (N5_1 y N5_2, respectivamente). Debajo, adjuntamos también un resumen tabular.

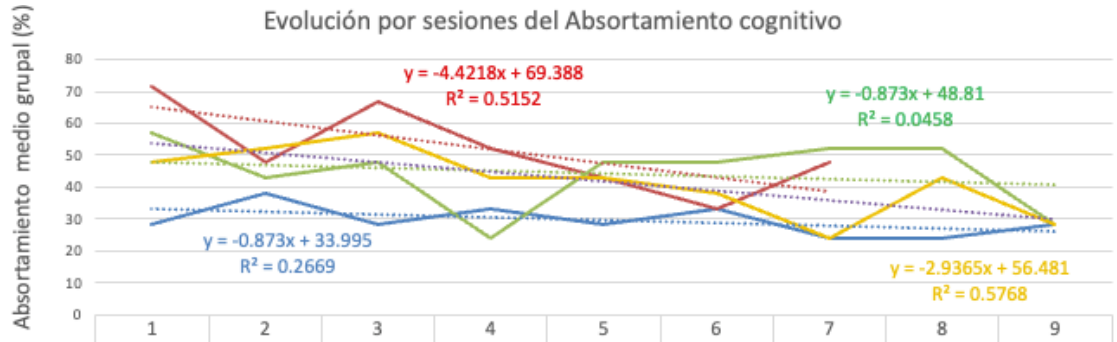
Con respecto a la Figura 3.47, el *flow* medio manifestado por el grupo experimental de diseño 2D, en base a cuestionarios EduFlow, supera al de los demás grupos, que siguen una evolución solapada. También se aprecia en la Figura 3.47 una tendencia decreciente en cuanto al *flow* manifestado conforme transcurren las sesiones, más clara en los grupos N6_2 y N5_1, al agregar líneas de tendencia que explican entre el 70% y el 67% de la varianza, respectivamente. Por consiguiente, sospechamos que puede darse alguna influencia del efecto novedad, o del incremento de la dificultad de las sesiones, conforme avanzamos en ellas, de manera progresiva.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N5_1	42.86	47.62	39.29	44.05	39.29	39.29	36.90	36.90	40.48
N5_2	67.86	53.57	60.71	57.14	48.81	57.14	57.14		
N6_1	53.57	46.43	40.48	34.52	38.10	41.67	40.48	50.00	35.71
N6_2	44.05	48.81	48.81	39.29	42.86	40.48	39.29	41.67	39.29

Figura 3.47. Evolución temporal por sesiones de las medias grupales en escala EduFlow, para los grupos experimentales y de control. Elaboración propia

Además, acerca de la Figura 3.48, apreciamos estas tendencias decrecientes en cuanto a absortamiento cognitivo al avanzar los cursos, en los grupos experimentales (N6_2 y N5_2), ya que, al trazar líneas de tendencia se verifican correlaciones que explican el 72% y el 79% de la varianza observada, respectivamente. De cualquier manera, esta tendencia general parece romperse con el grupo N6_1, que, salvo a los valores mínimos que ofrece en las sesiones 4 y 0, es más estable en torno a magnitudes del 40%, así como también lo es bastante el otro grupo de control (N5_1), alrededor del 30%. Por consiguiente, los grupos experimentales manifiestan más absortamiento cognitivo hasta la mitad de los cursos, pero se ven igualados o superados después, por los de control.



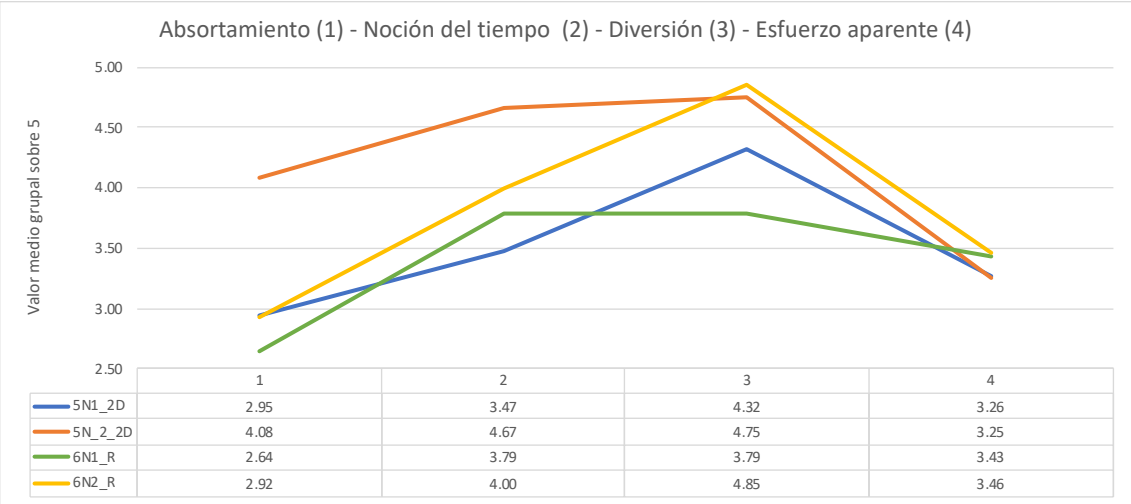
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N5_1	28.57	38.10	28.57	33.33	28.57	33.33	23.81	23.81	28.57
N5_2	71.43	47.62	66.67	52.38	42.86	33.33	47.62		
N6_1	57.14	42.86	47.62	23.81	47.62	47.62	52.38	52.38	28.57
N6_2	47.62	52.38	57.14	42.86	42.86	38.10	23.81	42.86	28.57

Figura 3.48. Evolución temporal por sesiones de las medias grupales en escala EduFlow del absortamiento cognitivo, para los grupos experimentales y de control. Elaboración propia.

8.2. Discusión comparada de los resultados de las entrevistas en los grupos experimentales, frente a los de control.

Debido a su disponibilidad, pudimos entrevistar a 13 participantes en cada uno de los grupos experimentales. En ellos, la aceptación general de los cursos ha sido muy elevada, a tenor de las respuestas a la pregunta Q11 de los cuestionarios. Así, tenemos en el grupo N6_2 una aceptación media de 9.54 sobre 10 (SD = 0.85), mientras que para el grupo N5_2, la media fue de 9.0 sobre 10 (SD =1.09). Ambos resultados son comparativamente similares a los de los grupos de control (9.1 y 9.2 de media).

Por otra parte, interrogamos al alumnado sobre aspectos dimensionales del *flow* de especial relevancia, por lo que sabemos del estado del arte. Los resultados comparativos de la Figura 3.49, son elocuentes. Q1 se refiere al absortamiento cognitivo; Q2, a la pérdida de autoconciencia y de la noción del tiempo; Q3, a la diversión; y Q4, a realizar actividades sin esfuerzo aparente. Los grupos experimentales (5N2 y 6N2) se representan en colores rojo y amarillo, respectivamente. En cambio, los de control (5N1 y 6N1), se muestran en azul y verde, respectivamente. Resulta notorio que la integral bajo las curvas mostradas en los grupos experimentales, es netamente mayor que la de cualquiera de los experimentales. También que es mayor en el grupo experimental de diseño, seguido por el experimental de robótica, el de diseño gráfico de control y, finalmente, el grupo de control de robótica. En cambio, el esfuerzo aparente que tienen que hacer en los 4 grupos es similar (Q4), y solo hay superioridad clara respecto al abortamiento cognitivo (Q1) y la pérdida de la noción del tiempo (Q2) en el grupo N6_2, respecto a los otros tres. Asimismo, la diversión es mayor en los grupos experimentales, siendo superior a 4 sobre 5 de media en tres de los grupos, y moderada en el grupo 6N_1.



	1	2	3	4
5N1_2D	2.95	3.47	4.32	3.26
5N_2_2D	4.08	4.67	4.75	3.25
6N1_R	2.64	3.79	3.79	3.43
6N2_R	2.92	4.00	4.85	3.46

Figura 3.49. Comparativa de dimensiones del flow entre grupos por medio de entrevistas. *Elaboración propia*

Respecto de la linealidad percibida en los cursos (Q5), el 100% de los entrevistados manifestó en ambos grupos experimentales que la dificultad se incrementó gradualmente, del modo muy similar a lo manifestado por los participantes en los grupos de control (ver Figura 3.20).

También contestaron acerca de la importancia dada a las actividades (Q6), donde solo una persona otorgó en cada grupo una importancia media, frente a mucha en ambos grupos, por lo que se perciben las actividades como muy importantes, mayoritariamente, en paralelo a lo visto en los grupos de control (ver Figura 3.21).

Además, a través de la pregunta Q7, interrogamos a los participantes por las expectativas que los cursos han suscitado, de manera homóloga a como lo hicimos con los grupos de control, como se aprecia en las Figuras 3.22 y 3.50. En los mismos, se manifiestan mayoritariamente razones autotélicas (73% y 64%). Además, en el grupo de robótica (6N_2), hay empate entre razones de logro y utilidad (18%), mientras que en el de diseño gráfico (5N_2), las respuestas de logro son iguales que en el de robótica (6N_2), pero doblan a las de utilidad (9%).

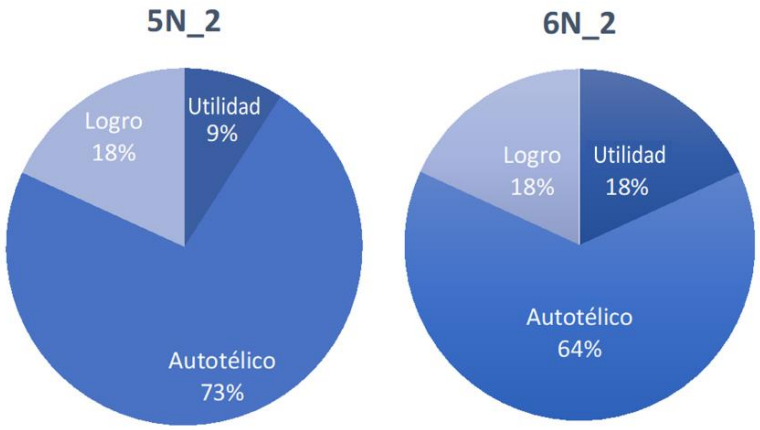


Figura 3.50. Comparativa de las razones por las que el alumnado de los grupos experimentales manifiesta participar en los cursos. Elaboración propia.

En cambio, las respuestas a la pregunta Q8 no son concluyentes, ya que, a cada persona, parecen gustarle cosas diferentes, como ocurría también en los grupos de control. En cambio, alrededor del 38% del alumnado no cambiaría nada de los cursos, en los grupos experimentales (Q9).

Además, los participantes del grupo N5_2, respondieron que hubo baja ocurrencia de problemas técnicos (Q10) de manera unánime, mientras que solo dos participantes del grupo N6_2 manifestaron que no siempre. Estas tendencias son muy parecidas a las manifestadas en los grupos de control.

8.3. Diferencias en rendimiento educativo entre los grupos experimentales y los de control.

Este epígrafe permitirá interpretar, especialmente, si se cumple el *OE3.*

Para comparar los rendimientos educativos entre los grupos de control y experimentales, realizamos una aproximación basada en estadística descriptiva, primero, y otra inferencial, después.

En primer lugar, presentamos en la Figura 3.51 unos sumarios de las calificaciones, según se establece en el citado Decreto 97/2015, de 3 de marzo, de la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía. En dicha tabla, consideramos los programas STEAM de diseño 2D y robótica, organizados en grupos experimentales y de control.

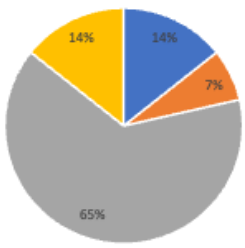
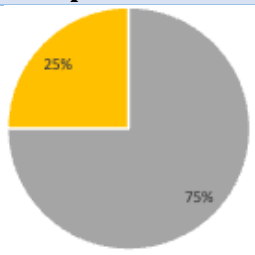
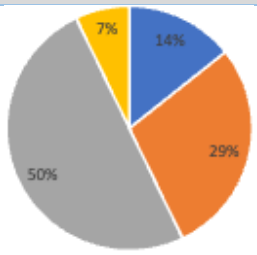
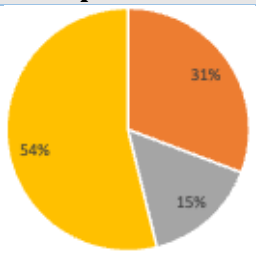
Diseño gráfico 2D		Robótica educativa	
Grupo de control	**Grupo experimental**	**Grupo de control**	**Grupo experimental**
			
Calificaciones sobre 10			
n =14 Máximo = 8.89 Mínimo = 4.44 Media = 7.06 SD = 1.42	n = 12 Máximo = 10.00 Mínimo = 6.70 Media = 7.7 SD = 1.11	n = 14 Máximo = 8.89 Mínimo =3.33 Media = 6.35 SD = 1.47	n =13 Máximo = 10.00 Mínimo = 5.56 Media = 7.69 SD = 1.78
Valoración sobre 10			
9.00	9.00	9.04	9.54
Leyenda común: ▪ Insuficiente ▪ Bien ▪ Notable ▪ Sobresaliente			

Figura 3.51. Comparativa de rendimientos y valoración media grupal por temáticas STEAM entre los grupos experimentales y los de control. Elaboración propia.

En primer lugar, encontramos que el porcentaje de suspensos en los dos grupos de control (14%) y en ambos grupos experimentales (0%), coincide para cada ciclo de Investigación-

Acción. No es posible realizar pruebas Chi-cuadrado para determinar la asociación entre fracaso educativo y el empleo del SATEF en cada temática STEAM, debido a que hay valores cero en ambos grupos experimentales. Por consiguiente, en base a estadística descriptiva, parece que se reduce el fracaso educativo en los grupos experimentales.

En cuanto a la excelencia en las calificaciones (nota = 10), solamente se da en los grupos experimentales (1 en diseño gráfico y 2 en robótica). Como dato relevante, debemos señalar que dichas notas las obtuvieron niñas. Del mismo modo, tampoco es posible realizar la prueba Chi-cuadrado, debido a que hay observaciones con valores cero en los grupos de control. No obstante, parece que, en los grupos experimentales, se incrementa la excelencia.

Asimismo, el porcentaje de sobresalientes es más de 7 veces superior en el grupo experimental de robótica que en el de control (54% y 7%, respectivamente). Por ello, realizamos una prueba Chi-cuadrado χ^2 (1, N = 28) = 7.5959, Sig. < 0.01, para determinar la significatividad de esta asociación, encontrando un p-valor de 0.00585. Por consiguiente, en los grupos de robótica donde se emplea el SATEF, se incrementan los sobresalientes, con un nivel de significatividad de la prueba $\alpha < 0.01$.

También observamos en la Figura 3.51 un balance en los sobresalientes a favor del grupo experimental en diseño gráfico frente al de control (25% y 14%, respectivamente). No obstante, la prueba Chi-cuadrado no es significativa χ^2 (1, N = 26) = 0.4776, Sig. > 0.05, de manera que no parece demostrarse una asociación en los grupos de diseño gráfico entre del uso del SATEF y las calificaciones de sobresaliente.

Además, se aprecia en la Figura 3.51 un incremento en los notables (75% frente al 65%) entre los grupos de diseño gráfico, desapareciendo los bienes en el experimental. En este caso, la prueba Chi-cuadrado no resulta significativa ante la asociación entre notables y el uso del SATEF en los grupos de diseño gráfico χ^2 (1, N = 26) = 0.3482, Sig. > 0.05.

En cambio, en los grupos de robótica, el porcentaje de bienes es muy similar (31% y 29%) y disminuye la cantidad de notables, pero se hace en favor de los sobresalientes, en el grupo experimental frente al de control.

También se observa un incremento en las calificaciones medias sobre 10 en los grupos experimentales, frente a los cursos equivalentes en los grupos de control (0.64 y 1.34 puntos sobre 10, respectivamente). Ello supone incrementos porcentuales del 13.4% en robótica y del 6.4% en diseño, favorable a los grupos experimentales. Por ello nos preguntamos si estas diferencias son estadísticamente significativas, a lo cual vamos a dar respuesta, seguidamente.

En primer lugar, estudiamos la homocedasticidad (igualdad de varianzas) de la variable calificaciones en los 4 grupos mediante la prueba de Levene (Levene, 1960; c.f. Brown & Forsythe, 1974), usando SPSS. Así, no queda acreditada diferencia entre varianzas para un $\alpha = 0.05$ entre los grupos de diseño (F = 0.973; p = 0.334) ni en los de robótica (F = 2.88; p = 0.102).

En segundo lugar, comprobamos la normalidad de las distribuciones de las calificaciones en los 4 grupos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1933; Smirnov, 1948; c.f. Massey, 1951) con corrección de Lilliefors (1967) y Shapiro-Wilk (1965), de nuevo con SPSS, dos colas y $\alpha = 0.05$. Ya que no superamos los 50 casos en ningún grupo (concretamente, tenemos entre 14 y 12), concedemos mayor crédito a la segunda, si bien mostramos los resultados de ambas en la tabla 3.30. De dicha tabla se deduce que solo presenta una distribución normal la variable calificaciones en el grupo de control de

robótica (p = 0.626), no así, en cambio, en los de control y experimental de diseño 2D (p = 0.037 y p = 0.028, respectivamente), ni en el experimental de robótica (p = 0.012).

Tabla 3.30. Pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk de la variable calificaciones en los grupos experimentales y de control. *Elaboración propia.*

Grupo	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
2D (control)	0.264	14	0.009	0.866	14	0.037
Robótica (control)	0.157	14	0.200	0.954	14	0.626
2D (experimental)	0.238	12	0.059	0.840	12	0.028
Robótica (experimental)	0.287	13	0.004	0.821	13	0.012

Cruzando la información sobre homocedasticidad y normalidad de la variable calificaciones entre grupos experimentales y de control de la misma temática, la ortodoxia estadística nos permite aplicar una prueba U de Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947), para comparar la significatividad estadística entre rangos para los cursos de diseño gráfico, y una prueba T de Student, para contrastar si las calificaciones medias de los cursos de robótica son significativamente distintas. En todo caso, seguimos asumiendo dos colas y $\alpha = 0.05$ para los grupos que se comparan.

Consecuentemente, si bien existe una diferencia de 0.64 puntos sobre 10 en las calificaciones medias de grupo experimental frente al de control en los cursos de diseño 2D, una comparación por rangos en las calificaciones no demuestra diferencias estadísticamente significativas (U = 77.000; p. = 0.715). En este sentido, observamos en el apartado de fracaso académico y calificaciones perfectas diferencias entre grupos (valores extremos), pero resulta complicado mejorar las calificaciones medias entre ambos grupos, dado el buen rendimiento alcanzado en dicha temática en cursos de diseño 2D.

Con respecto a las medias de las calificaciones en los cursos de robótica, como se aprecia en la tabla 3.31, esta es superior en 1.34 puntos sobre 10 en el grupo experimental y estadísticamente significativa con una confianza del 95% (t = -2.140; p = 0.042).

Tabla 3.31. Resultados de la prueba t de Student para comparar las calificaciones medias entre el grupo experimental con el de control sobre robótica. Elaboración propia.

Grupo		n	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Robótica (control)		14	6.3492	1.47332	0.39376
Robótica (experimental)		13	7.6923	1.78364	0.49469
Resultados	**t**		**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Diferencia de medias**
	-2.140		25	0.042	-1.34310

Asimismo, se calcularon el tamaño del efecto y la potencia estadística con el software G Power v.3.1. (Faul et al., 2007), a fin de determinar la relevancia que el uso del SATEF tiene en las calificaciones medias de los grupos de robótica. Para ello, seleccionamos

herramientas de análisis *post hoc* y la igualdad en las calificaciones entre grupos, como hipótesis a contrastar, dos colas y $\alpha = 0.05$. De este modo, obtuvimos un tamaño del efecto de 0.82, lo cual sugiere que el tamaño del efecto es grande (c.f. Cohen, 1988). En cambio, la potencia estadística de la prueba (0.53) está por debajo de 0.80, que se requiere para considerar los resultados extrapolables a otros contextos (Ellis, 2010). Ello está afectado por el pequeño tamaño de muestra con el que contamos y por los rendimientos escolares positivos que se obtienen en los dos grupos que se comparan. Paradójicamente, despejar dicha incógnita, supone trabajar con grupos de más de 25 participantes, lo cual significaría superar las ratios legales en un aula.

Para concluir, en los grupos experimentales, parece reducirse el fracaso académico y se potencia la excelencia en las calificaciones. En cuanto a la asociación entre calificaciones de sobresaliente, queda acreditada en los grupos experimentales que practican robótica. Asimismo, en las calificaciones medias, su impacto es significativo, tiene un tamaño del efecto grande, pero no podemos saber si podría llegar a ser extrapolable a otros contextos, al comparar los grupos de robótica. En cambio, no puede demostrarse comparando las calificaciones medias de los grupos de diseño 2D. No obstante, evaluando todos estos hechos en su conjunto, el balance resulta favorable en cuanto a rendimiento educativo en los grupos experimentales, donde se emplea el SATEF.

Además, evaluar los rendimientos educativos, requiere posicionarse por enfoques e instrumentos de evaluación, que implican alguna limitación de cualquier estudio educativo (c.f. Mora Vargas, 2011, entre otros). En este sentido, nunca se sabe si los rendimientos son fruto del alumnado, del profesorado, de ambos o de ninguno, en el peor de los casos. Menos todavía, cuando los roles en metodologías STEAM difieren de los tradicionales, puesto que permitimos las ayudas entre pares. Sin embargo, la asistencia, en conjunción con los resultados académicos y el progreso verificado respecto al pretest, podría ser un indicador de rendimiento del tándem profesorado-alumnado, puesto que informa de las clases que se necesitan para que esta asociación de voluntades triunfe de algún modo evaluable. Así, observamos que algunos participantes precisan al menos 5 de 7 lecciones para aprobar, partiendo de nulos conocimientos conforme a los exámenes propuestos, para los grupos de diseño gráfico 2D, y solo 4 de 9, en los de robótica, lo cual representa apenas la mitad de las clases programadas (3.48). Considerando la notable dificultad de las temáticas estudiadas, los rendimientos parecen francamente buenos en todos los grupos. No obstante, cabe la sospecha de que las ausencias y su distribución temporal pudiesen tener un efecto en los rendimientos, ya que usamos metodologías constructivistas y no todas las faltas revisten igual gravedad (pensemos que suceden al principio de los módulos y el alumnado pierde nociones o destrezas clave que se requerirán después). En cambio, eliminando al participante ausentista que suspende tras faltar a más de 1/3 de las clases en el grupo N5 1, no atisbamos correlación, dentro de los 4 grupos de estudio, entre las calificaciones finales y la asistencia (obsérvese con cuidado la Figura 3.52, donde no eliminamos tal dato). Por consiguiente, entendemos que la asistencia informa mejor sobre la querencia o afinidad de los grupos por no perderse clases, antes que sobre el rendimiento. Nuevamente, el balance a favor de los grupos experimentales es muy claro.

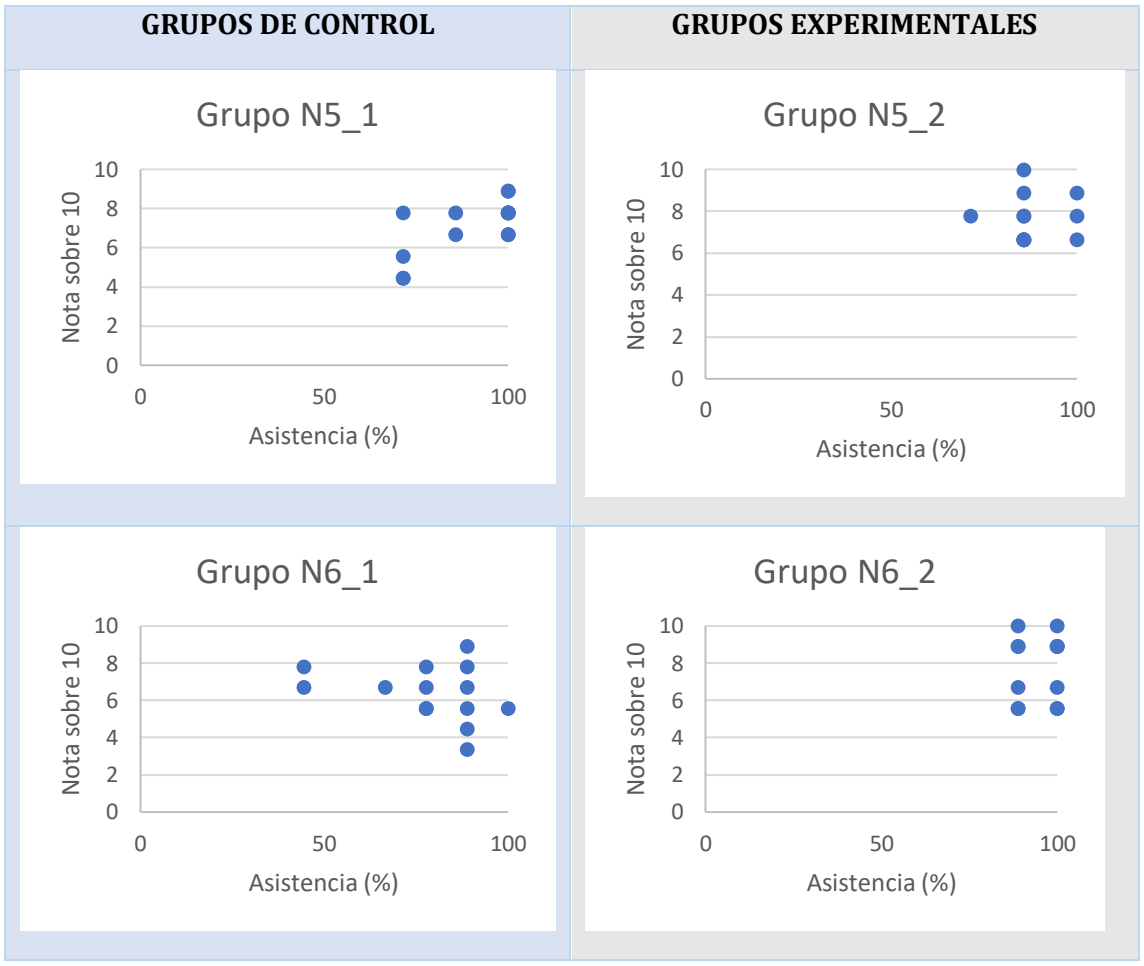


Figura 3.52. Comparativa entre grupos de control y experimentales, en cuanto a rendimiento y asistencia. Elaboración propia.

8.4. Interpretación de los resultados obtenidos con el SATEF, niveles de *flow* y rendimientos educativos, en los grupos experimentales y de control.

Este apartado resulta crucial para evaluar si el **OE4** se cumple.

Como vimos en el apartado 7.4.2, observamos una inversión en el sentido de las correlaciones entre la media del ritmo cardiaco grupal (HRg) tras los 5 primeros minutos de clase y el porcentaje de *flow* manifestado por los participantes al finalizar, usando escalas EduFlow, entre los dos grupos de control y los dos experimentales. En este sentido, en ambos grupos de control, la correlación es negativa y, en los experimentales, es positiva.

Debemos tener presente, también, que esta inversión se produce con independencia de las temáticas STEAM practicadas (robótica y diseño 2D) y que, en los grupos experimentales, el profesor lleva a cabo durante toda la sesión las indicaciones dadas tras esos 5 primeros minutos lectivos por el Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF).

Asimismo, encontramos en la revisión del estado del arte de esta tesis, sobre todo estudiando el trabajo de Knierim et al. (2018), dos estudios donde no se verificó correlación estadísticamente significativa entre el ritmo cardiaco y las escalas de *flow* (Harmat et al., 2015; Murch, Chu & Clark, 2017), dos estudios donde la correlación es lineal negativa (Léger et al., 2014; Liu et al., 2009) y otros dos, con correlaciones lineales positivas (Bian et al., 2016, Gaggioli et al., 2013). En esta tesis, tenemos la fortuna de encontrar juntas las tres posibilidades y dar una explicación hipotética de lo sucedido, puesto que la diferencia puede ser racionalmente atribuible al uso del SATEF y en cómo modifica profundamente la práctica docente.

En primer lugar, para no encontrar correlación entre HRg y las escalas de *flow*, basta con seleccionar pocas sesiones y que la selección de estas esté constituida por una nube de puntos homogéneamente distribuida por todo el espacio de características. Ello habría confundido nuestras conclusiones por un sesgo en la selección de la muestra, lo cual, no sucedió finalmente.

Posteriormente, encontramos en ambos grupos de control que la correlación entre HRg y la media grupal de la escala EduFlow es negativa, es decir, que los valores relativamente bajos de HRg producen mayores niveles de *flow,* proporcionalmente, que los altos. En ambos grupos sabemos, por el diario de clase y el panel de control, que el profesor no repetía por sistema las explicaciones y ejemplos, sino que mostraba un ejemplo y atendía seguidamente de manera individual las peticiones de ayuda del alumnado, en caso de que tuviesen lugar.

Asimismo, se demostró que, en los grupos experimentales, el profesor se vio forzado por el SATEF en todas las ocasiones a repetir las explicaciones y ejemplos, a fin de asegurar una disminución en el ritmo de las lecciones, sin alterar los contenidos y actividades trabajadas en casa sesión, con respecto a los grupos de control. En ambos grupos experimentales, la correlación entre HRg y los valores de *flow* grupal es lineal y positiva, de manera que el alumnado manifiesta más *flow*, conforme sus pulsaciones por minuto se incrementan.

A continuación, nos disponemos a comparar los niveles de *flow* medios manifestados por los participantes y HRg en cada sesión, para los grupos experimentales y los de control (tabla 3.32). Debemos aclarar que, en dicha tabla, no incluimos las sesiones de Roblox Studio, ya que solo pudo disfrutar de ellas el alumnado de 5º curso de los grupos de control, no así en los grupos experimentales, por la falta de acceso a Internet.

Tabla 3.32. Comparativa por sesiones en los grupos de control y experimentales entre las variables media grupal del ritmo cardiaco medio de los sujetos (HRg) y el porcentaje medio de flow manifestado en escalas EduFlow (%Flow). Elaboración propia.

Grupos de control			**Grupos experimentales**		
Sesión	**HRg**	**%Flow**	**Sesión**	**HRg**	**%Flow**
2N5	77.82	58.8095238	1N5	94.3267	83.22511
3N5	98.03	61.6904762	2N5	90.9864	78.35498
4N5	85.49	49.1071429	3N5	92.1662	81.61376
5N5	96.55	53.0595238	4N5	98.9961	82.23443
6N5	84.69	59.1309524	5N5	94.7481	78.47985
7N5	88.02	62.9880952	6N5	92.9033	77.87698

2N6	76.55	74.6547619	7N5	90.1186	77.77778
3N6	74.09	67.0595238	1N6	86.023	70.79365
4N6	76.20	69.047619	2N6	83.8185	71.51361
5N6	77.71	68.6547619	3N6	90.1816	73.26007
6N6	73.67	66.3690476	4N6	85.1023	69.55782
7N6	84.76	59.3809524	5N6	90.7222	70.13889
8N6	81.99	64.8095238	6N6	83.12	61.50794
9N6	86.56	61.1071429	7N6	85.9861	62.17949
			8N6	88.5583	63.31169
			9N6	91.2172	64.92674

De la tabla 3.32, se deduce que el ritmo cardiaco medio grupal, es mayor en los grupos experimentales (89.94 ± 4.33) que en los de control (83.00 ± 7.69). Para comprobar si esta diferencia es estadísticamente significativa, comenzamos comprobando la normalidad de las distribuciones mediante una prueba de Shapiro-Wilk con SPSS para la variable HRg en los grupos de control (Est.=0.912, gl. =14, Sig.=0.167) y en los experimentales (Est =0.957, gl.=14, Sig.=0.667). A continuación, realizamos la prueba de Levene (F=4.730; Sig. = 0.38), junto a una prueba T de Student con dos colas, para 2 muestras independientes (t= -2,980, gl. = 19.82, Sig. = 0.007). Asimismo, se demuestra que el tamaño del efecto y la potencia estadística son grandes (p =1.109161; $1 - \beta$ =0.95), empleando GPower (Faul et al., 2007). Por consiguiente, los resultados son significativos, el tamaño del efecto que tiene el uso del SATEF es grande y las conclusiones son extrapolables a otros contextos similares, con un α = 0.01 para todas las pruebas.

Asimismo, queremos conocer si el empleo del SATEF produce cambios significativos en los niveles de *flow* entre los grupos experimentales y los de control. Para ello, en primer lugar, se demuestra que el porcentaje de *flow* medio manifestado tras las sesiones en los grupos experimentales (72.92 ± 7.32) es superior al de los grupos de control (67.56 ± 6.53). La prueba de Shapiro-Wilk, informa de normalidad en las distribuciones de los grupos de control (Est.=0.979, gl = 14, Sig. 0.969) y en los experimentales (Est. =0.923, gl =14, Sig. =0.240). Aplicando conjuntamente las pruebas de Levene (F =0.610, Sig. = 0.441) y T de Student para 2 muestras independientes con dos colas (t= -4.032, gl = 28, Sig. < 0.001), concluimos que existen diferencias significativas en el nivel de *flow* entre los grupos experimentales y los de control que resulta favorable a los experimentales, al comparar las medias. A continuación, para un α = 0.01, determinamos el tamaño del efecto (p = 1.480633) y la potencia estadística ($1 - \beta$ = 0.95) con GPower. Por ello, concluimos que, en los grupos experimentales, el tamaño del efecto y la potencia estadística son grandes (c.f. Cohen, 1992; Bono & Arnau Gras, 1995; Cárdenas & Arancibia, 2014). Esto implica que el empleo del SATEF incrementa significativamente los niveles de *flow* en los grupos experimentales y que ello es extrapolable a otros contextos similares. Como en los grupos experimentales el rendimiento educativo es superior, esta mejoría en el tanto por ciento de escala del *flow* grupal es coherente con lo reportado para individuos aislados (Faul, et al., 2007; Csikszentmihalyi, 1975; Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1998; entre otros), donde la hipótesis mantenida es que el incremento en los niveles de *flow*, mejora los rendimientos (se traduce de *performance*, en inglés).

Finalmente, queremos encontrar al menos una explicación hipotética de lo que sucede. Por consiguiente, comenzamos por recordar que los incrementos de la variable HR (pulsaciones

por minuto del corazón) son una medida que se suele asociar con un incremento de la actividad del Sistema Nervioso Simpático (Shaffer, McCraty & Zerr, 2014; McCraty & Shaffer, 2015; Naranjo et al., 2015, entre otros). Como consecuencia, parece que, en los grupos de control, los ritmos cardiacos elevados pueden estar manifestando el estrés al que el profesor expone al grupo-clase, debido a la mayor dificultad (Chanel et al., 2008; Tomaka, et al.,1993; Tomaka et al., 1997), mientras que, en los experimentales, los ritmos cardiacos elevados sugieren excitación o felicidad (por los mayores niveles de *flow* reportados), ante un contexto al que se puede imprimir cierto grado de monotonía. Por consiguiente, los grupos de control podrían situarse con más probabilidad en el cuadrante del esquema de Lang (1995) con valencia negativa y arousal positivo, mientras que, los experimentales, estarían en el cuadrante de valencia y arousal positivos. De manera análoga, considerando el modelo circunflejo de Posner, Russell & Peterson (2005), los 4 grupos se localizarían en cuadrantes con activación, pero diferirían en cuanto a la tendencia al placer (felicidad) y desagrado (estrés), respectivamente.

Sin embargo, más allá de explicaciones hipotéticas, coincidente con el cambio metodológico, se produce un cambio de signo en las correlaciones de los dos grupos experimentales y los dos grupos de control entre niveles promedio del *flow* reportado y ritmo cardiaco grupal, un incremento en los niveles de *flow* reportados y mejoras en los rendimientos educativos.

Por todo lo anterior, el SATEF parece una herramienta útil en la docencia presencial, ya que permite también identificar *a posteriori* aquellas sesiones donde pueden producirse mayores dificultades (v.g., las sesiones STEAM de robótica con circuitos). Asimismo, parece anticipar al docente con la antelación necesaria sobre lo que sucedería con el grupo, respecto a los niveles de *flow* alcanzado, sin distraer la atención de lo que sucede en el aula, puesto que entendemos que su eficacia disminuye conforme transcurre el tiempo de la sesión. También parece evidente que incrementar los niveles de *flow* grupal mejora el rendimiento educativo de los grupos y su bienestar.

8.5. Comparativa dinámica del bienestar entre los grupos experimentales y de los de control respecto al balance en las tareas: la hipótesis del vórtice atractor.

En el apartado anterior (8.4), se demostró que hay una diferencia estadísticamente significativa, con gran tamaño del efecto y potencia estadística en los niveles de *flow* entre los grupos experimentales y los de control (t= -4.032, gl = 28, Sig. < 0.001, d = 1.480633, $1 - \beta = 0.95$, $\alpha = 0.01$). Dichos niveles se relacionan con el bienestar de ambos grupos, como demuestran Csikszentmihalyi (1974, entre otros). Sin embargo, lo anterior, ofrece una imagen fija de este aspecto positivo del *flow* en el bienestar de los grupos.

En este apartado, queremos mostrar una panorámica evolutiva grupal, a partir de los datos recabados sobre la variable equilibrio. Esta se recoge en los cuestionarios de los 4 grupos de estudio mediante el ítem A3 de las escalas FKS ("Para mí, personalmente, la exigencia que pide esta tarea es…), que se responde con una escala de Likert, la cual asigna 1 al valor

"demasiado baja", 5, a "adecuada" y 10, a "demasiado alta". No obstante, en la Teoría Flow, el balance en las tareas es una precondición necesaria para vivir experiencias óptimas (Finneran & Zhang, 2005), pero la correlación entre la condición de *flow* y la variable equilibrio demostrada por Shin (2006) es paradójicamente baja, aunque significativa (r = 0.206, Sig. < 0.01). Ello resulta desconcertante, habida cuenta de que la hipótesis del equilibrio es uno de los principales pilares de la Teoría Flow (Csikszentmihalyi 1975, 1990; Csikszentmihalyi & Rathunde, 1993; Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1998).

Observamos en esta tesis que, el alumnado, a lo largo de respuestas válidas procedentes de **407 cuestionarios** respondidos tras cada sesión, otorga una puntuación media para el ítem A3 = 5.1, con una desviación estándar de 1.143 y un histograma de frecuencias, muy elocuente, como el que mostramos en la Figura 3.53. Del mismo se desprende que el alumnado percibe un equilibrio casi perfecto en las tareas, puesto que la normalidad de la distribución del histograma de frecuencias se rompe a causa de que el valor modal 5 (equilibrio perfecto), es muy prominente.

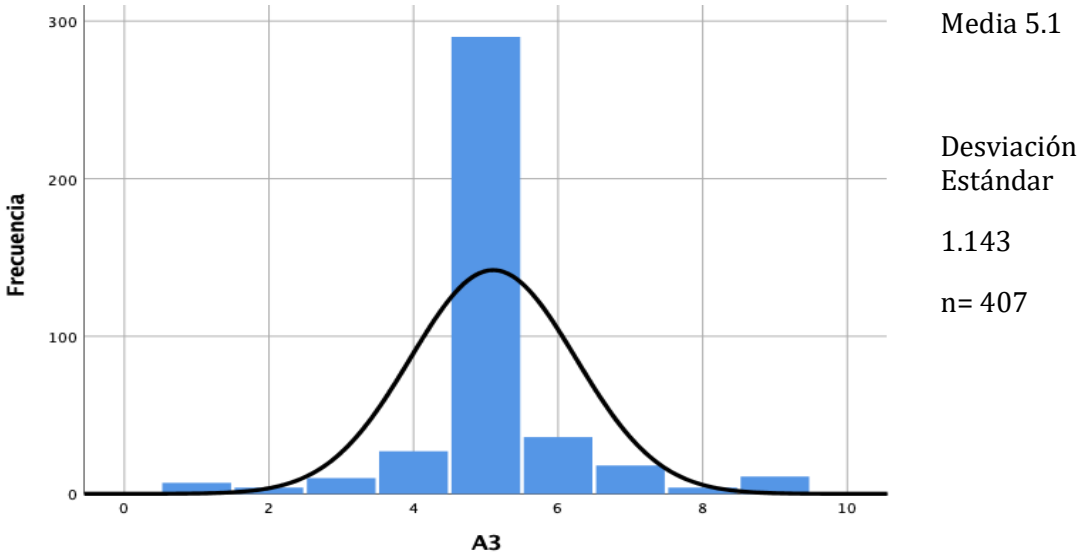


Figura *3.53*. Histograma de frecuencias de la variable Equilibrio (A3) para todos los cuestionarios de esta tesis. *Elaboración propia*

Sin perjuicio de lo anterior, vamos a emplear una técnica de análisis de datos no lineal novedosa en la Teoría Flow, no así en cardiología, que consiste en trazar y analizar gráficos de Poincaré (c.f. Houshyarifar & Amirani, 2017). Estos son gráficos de dispersión en los que se correlaciona cada medida de una serie temporal para un tiempo t, con el valor de la misma en el instante posterior (t+1). Procedimentalmente, con una hoja de cálculo, solo hay que escribir temporalmente ordenadas las medias grupales de la variable equilibrio por cada sesión en una columna, para copiarla y pegarla una celda más arriba en la columna contigua a la anterior, para el mismo grupo de estudio. A continuación, se elabora con ambas columnas un gráfico de dispersión, sin incluir las celdas vacías que resultan desemparejadas, al principio y al final de las series. Repetimos el proceso y se representan las 4 líneas de flujo en el mismo gráfico.

Para ello, partimos de los datos contenidos en la tabla 3.33, que muestra las medias grupales y desviación estándar de la variable A3, por sesiones y grupos de estudio.

Tabla 3.33. Medias grupales y desviación estándar de la variable A3 por sesiones y grupos de estudio. Elaboración propia.

Grupo N5_1 (2D)			Grupo N6_1 (robótica)			Grupo N5_2 (2D)			Grupo N6_2 (robótica)		
Sesión	**Media**	**SD**	**Sesión**	**Media**	**SD**	**Sesión**	**Media**	**SD**	**Sesión**	**Media**	**SD**
N5_1_1	4.92	0.515	N5_2_1	5.55	1.214	N6_1_1	4.43	1.512	N6_2_1	5.33	1.047
N5_1_2	6.00	1.732	N5_2_2	6.00	1.789	N6_1_2	4.36	1.120	N6_2_2	4.79	0.802
N5_1_3	5.14	1.657	N5_2_3	5.60	1.350	N6_1_3	4.67	1.155	N6_2_3	5.15	1.214
N5_1_4	4.43	1.618	N5_2_4	5.38	1.261	N6_1_4	5.07	0.730	N6_2_4	5.20	0.414
N5_1_5	5.27	1.009	N5_2_5	5.08	0.494	N6_1_5	4.55	1.968	N6_2_5	5.25	0.754
N5_1_6	5.08	1.320	N5_2_6	5.00	0.426	N6_1_6	5.23	1.235	N6_2_6	5.44	0.527
N5_1_7	4.57	1.158	N5_2_7	4.92	0.669	N6_1_7	5.31	0.855	N6_2_7	5.23	0.725
N5_1_8	4.86	1.406				N6_1_8	5.00	1.537	N6_2_8	5.27	0.905
N5_1_9	5.38	1.261				N6_1_9	5.08	1.084	N6_2_9	4.92	0.494

A continuación, presentamos el gráfico de Poincaré obtenido con los 4 grupos juntos (Figura 3.54). En dicha figura, se perfilan 4 líneas de flujo que parecen ser atraídas hacia un vórtice, que se sitúa un poco por encima del punto de equilibrio perfecto (x = 5.0, y = 5.0).

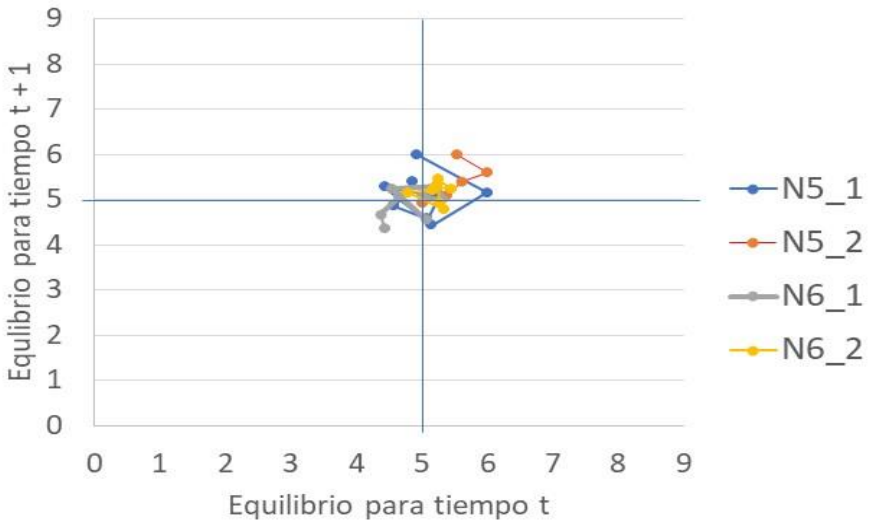


Figura 3.54. Gráfico de Poincaré para la variable A3 media por sesiones en los grupos experimentales y de control, donde se evidencia un vórtice atractor. *Elaboración propia.*

Complementariamente, en la Figura 3.55, mostramos un detalle más próximo a la zona de vorticidad, separando las líneas de flujo de los grupos experimentales (N5_2 y N6_2) de las líneas de flujo de los grupos de control (N5_1 y N6_1). Además, señalamos en ambas gráficas con una cruz el lugar aproximado alrededor del que se intuye el centro del vórtice atractor, que estaría ligeramente desplazado hacia arriba y a la derecha, respecto del punto de equilibrio perfecto (coordenadas x = 5.0, y = 5.0), correspondiente con el valor medio de la variable A3 (punto de coordenadas x = 5.1, y = 5.1). Cualitativamente, sugerimos que, en los grupos experimentales, que estaban asistidos por el SATEF, las líneas de flujo se encaminan más directamente al lugar hipotético donde situaríamos el vórtice, o giran más próximas al mismo, mientras que las líneas de flujo de los grupos experimentales son más erráticas, con trayectorias que ocupan mayor superficie alrededor del vórtice.

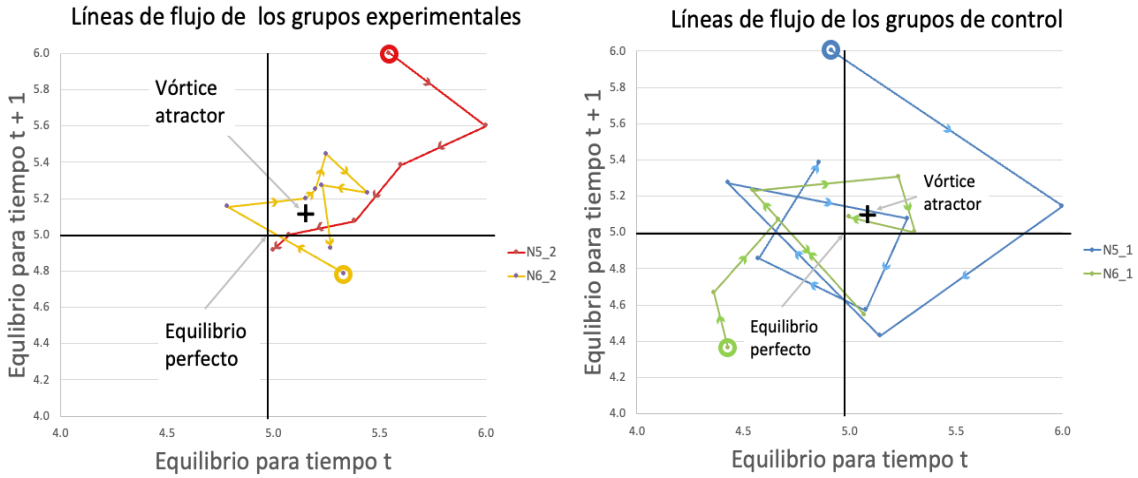


Figura *3.55*. Gráficos de Poincaré para la variable A3 media por sesiones en los grupos experimentales y de control. *Elaboración propia*

Además, encontramos antecedentes al empleo de líneas de flujo en Pearce & Howard (2004) y en Pearce, Ainley & Howard (2005), pero aquí nos decantamos por usar gráficas de Poincaré, en lugar de proyectar directamente los puntos de equilibrio sobre el modelo del canal (Figura 2.5). También, reconocemos que Kiili et at. (2012), definieron la Zona de Desarrollo Próximo de Vygotsky, situada por encima de la zona de *flow* en el modelo del canal (Figura 2.4), ampliamente discutido en el estado del arte de esta tesis (Figura 3.56). Pedagógicamente significa que, por medio de ayudas secuenciales no completamente resolutivas, unas personas facilitan la adquisición de conocimientos y habilidades, que se sitúan por encima de las capacidades subjetivas u objetivas de otras, que tienen deseo de aprender (Vygotsky, 1962, 2011). Es así como consiguen sus metas, ante la perspectiva de experimentar estrés o aburrimiento, mientras que, si estuviesen solas, se alejarían significativamente del estado de *flow*. En consecuencia, abandonarían la tarea (Kiili et al., 2012).

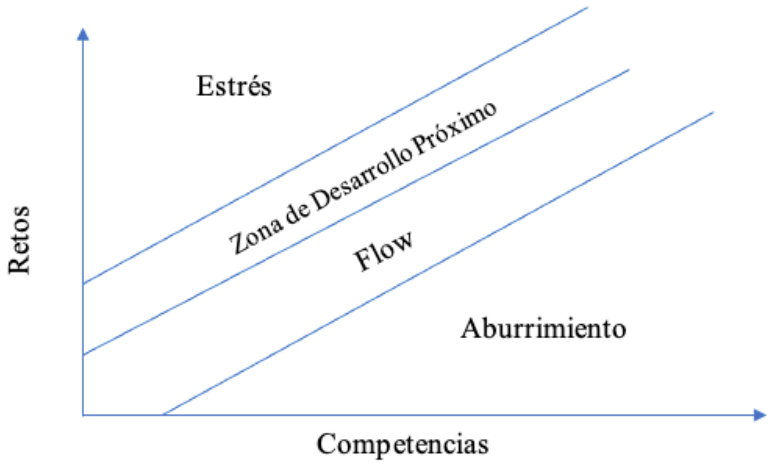


Figura 3.56. Redefinición de la Zona de Desarrollo Próximo de Vygotsky en el modelo del canal de flow. *Elaboración propia, a partir de Kiili et al. (2012).*

> En este sentido, el equilibrio subjetivo de las tareas parece clave, aunque Løvoll & Vittersø (2014) hayan cuestionado que la monotonía en el equilibrio percibido puede conducir al aburrimiento. No obstante, hay que considerar los procesos no lineales que parecen tener bastante trascendencia a lo largo de las sesiones, además de que coincidimos en que el equilibrio no es completamente perfecto y presenta movilidad, pero tampoco parece que tengamos desviaciones muy grandes respecto a dicho ideal, ni las estimamos convenientes, por lo que acabamos de visualizar.

Todo ello lo proponemos a modo de hipótesis a contrastar en futuras investigaciones, ya que excede a nuestros objetivos originales. En este sentido, este hecho se ha revelado ante la necesidad de comprender en profundidad nuestros propios datos, bajo la limitación que supone contar con un solo profesor, capaz de generar estas dinámicas de manera tan consistente.

8.6. La hipótesis sobre expectativas de experimentar flow.

El objetivo general de esta tesis es (OG) "Mejorar el rendimiento educativo y el bienestar del alumnado mediante el desarrollo de un sistema computacional basado en dispositivos ponibles no invasivos para el asesoramiento sincrónico del docente en base a fisiología cardiaca grupal en aulas presenciales de Educación Primaria, en las que se utiliza metodología STEAM". Este debemos interpretarlo en base la siguiente hipótesis:

> El empleo de un sistema computacional de asesoramiento docente sincrónico respecto del estado de flow grupal mejorará los niveles de flow y, como consecuencia, los rendimientos educativos.

Fruto de ello, dentro de un programa de Doctorado en Ciencias de la Computación, nos percatamos de que habíamos de valorar, con cierta distancia (objetividad), los principios de la Teoría Flow y sus métodos de medida. Es así que, en base a nuestros propios datos, terminamos desarrollado un *Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow*.

Ahora que tenemos una panorámica global de lo acontecido, tras dos ciclos de Investigación-Acción, se hace necesaria una recapitulación que sirva para iniciar ciclos posteriores (Elliot, 2000; Stenhouse, 1984).

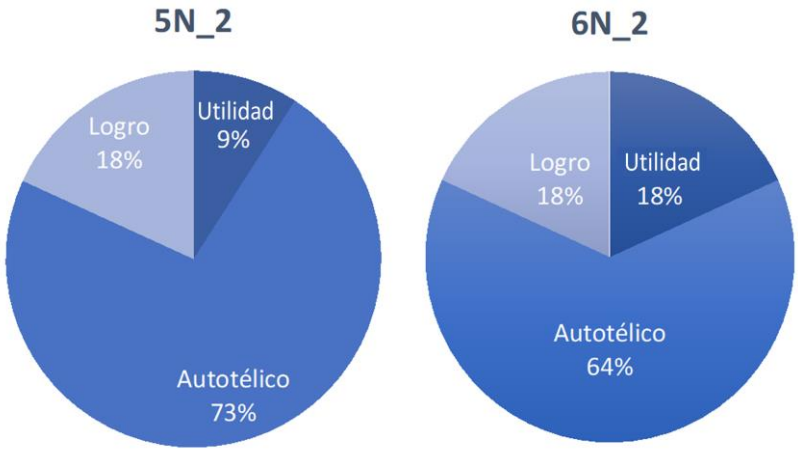
Para comenzar, queremos manifestar que advertimos en los grupos de personas la existencia de una expectativa de experimentar el *flow, que puede no ser más que una sugestión grupal basada en expectativas de experimentarlo, sin serlo de manera efectiva.* En este sentido, Wigfield, Tonks & Klauda, (2009, p. 59), desde las Teorías de la Expectativa-Valor, afirman que "*las expectativas de éxito y logro predicen los resultados de logro, que incluyen rendimiento, persistencia y elección de las actividades*".

Esta sospecha comenzó a evidenciarse en el primer ciclo de Investigación-Acción, cuando constatamos que las correlaciones con $\alpha < 0.01$ son mayores entre HR grupal y la escalas de *flow* grupal o sus dimensiones, al comienzo de las sesiones y disminuyen al correr el tiempo (Figuras 3.27 y 3.28). Por lo tanto, pensamos que pudiera haber una expectativa definida en base a constructos de *flow* validados.

Más adelante, tras dos ciclos de Investigación-Acción, pudimos comprobar cómo dicho correlato fisiológico explica, *tras solo 5 minutos de clase*, el *68% de la varianza* para la escala EduFlow en los grupos de control, el *91%* para la dimensión absortamiento cognitivo en los grupos de control, el *74%* para la escala EduFlow en los grupos experimentales y nada menos que el *98%*, para la escala EduFlow, en el grupo experimental de robótica educativa con circuitos. Por consiguiente, *la mera expectativa de alcanzar experiencias óptimas en los grupos escolares presenciales, pudiera ser una causa de la persistencia en las actividades, y no solo fuese atribuible a la experimentación o ausencia efectiva de flow*, puesto que aplicamos las recomendaciones del SATEF tras los 5 primeros minutos lectivos y las mantuvimos hasta el final, en los grupos experimentales. Fruto de ello, mejoraron los niveles de *flow* reportados y los rendimientos educativos en los grupos experimentales, frente a los de control (ver apartado 8.3).

Ello lo refuerza también el hecho de que no hayamos registrado abandonos, que el profesor haya tenido que obligar a irse al alumnado tras las clases, sin que podamos asegurar que se mantiene el *flow* vivido por el grupo (no el manifestado en cuestionarios), puesto que la correlación con HR grupal decae a lo largo de las clases.

Paralelamente, en base a **65 entrevistas**, tenemos la posibilidad de conocer las razones, basadas en expectativas, manifestadas por el alumnado en todos los grupos (N5_1_2D, N5_1_3D, N6_1, N5_2 y N6_2) por temática STEAM, como se recoge en la Figura 3.57. En ellas aparecen expectativas de logro, utilidad y autotélicas, en todos los grupos. Además, las expectativas autotélicas son mayores al resto y superiores al 50 % de las veces en todos los grupos, salvo en el N5_1_2D, alcanzando la máximas diferencia en este apartado, precisamente con su homólogo por temática (5N_2), donde se empleaba el SATEF (73%).



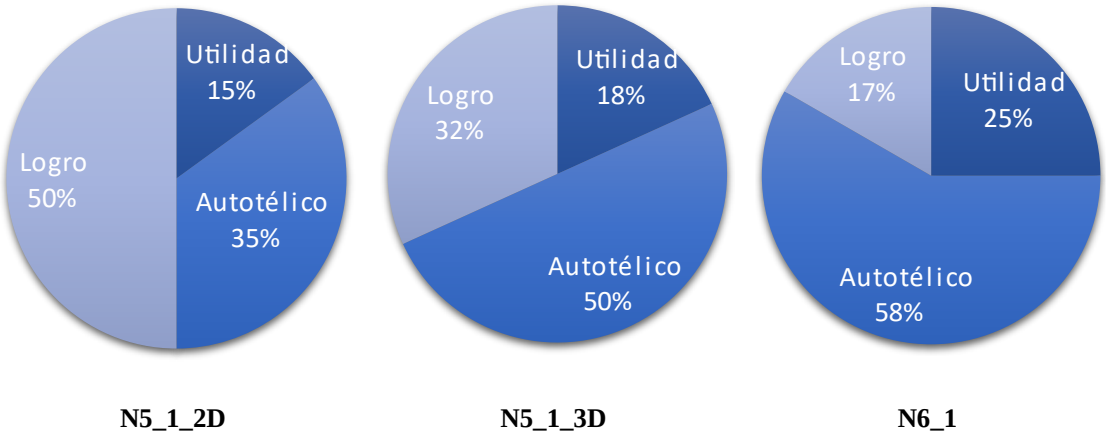


Figura 3.57. Razones de la participación del alumnado en las distintas actividades STEAM por grupos-clase, en tanto por ciento. Elaboración propia.

Por consiguiente, las expectativas descritas por Wigfield, Tonks & Klauda (2009), están presentes, pero hay un predominio de expectativas autotélicas, de las que no dan cuenta. Estas se asocian al *flow,* ya que *"es diversión*" (Privette 1983, p. 1361), es decir, describen actividades autotélicas que producen felicidad, como observamos en un tratado al efecto que escribió el propio Csikszentmihalyi (2013).

No obstante, mantenemos lo anterior en la esfera de las hipótesis, puesto que el descubrimiento fue fortuito: nuestro diseño de investigación persigue otros objetivos y el contraste de otra hipótesis distinta.

PARTE IV. CONCLUSIONES.

En esta tesis doctoral, **comenzamos realizando un especial esfuerzo por conocer los métodos existentes para la determinación del *flow***, en base a cuestionarios, así como conforme a distintas medidas de corte fisiológico, lo cual nos ha permitido deconstruir la Teoría Flow y sus modelos, habida cuenta de su transversalidad, ante las críticas realizadas por Swann et al. (2018), quienes sugieren un cambio de paradigma. En este sentido, mediante una revisión sistemática, **se han identificado y analizado en profundidad 34 métodos basados en cuestionarios validados para evaluar el *flow*, en trabajos escritos en inglés**. Los hay de distinta extensión (entre 3 y 66 ítems), capaces de evaluar 63 dimensiones distintas de las experiencias óptimas, en contextos muy variados. Además, pueden medir intensidad, prevalencia, variaciones, propensión y metacogniciones del *flow*. También, dimensiones de personalidades autotélicas, discriminar estados *flow-clutch*, el *flow* observado y el que puede medirse en grupos. Gracias a tener una amplia panorámica de cómo se determinan las experiencias óptimas, así como a gozar de una visión crítica de la Teoría en su conjunto, ha sido posible plantear un estudio desde las Ciencias de la Computación, centrándonos en aspectos de aprendizaje aumentado por la tecnología, considerando la complejidad, no linealidad y volatilidad del fenómeno de estudio.

Posteriormente, hemos planteado **un diseño cuasiexperimental, con métodos mixtos, dos grupos de control y dos experimentales, articulados con dos ciclos de Investigación-Acción**. Ello facilita la comprensión de los procesos que acontecen en contextos reales, desde una perspectiva fisiológica grupal, en cuanto a grupos clase de Educación Primaria que emplean didácticas STEAM. También, avanzar en el conocimiento ínfimo que se tenía sobre cómo opera el *flow* fisiológico en contextos alejados de un laboratorio, particularmente, en grupos y, especialmente, donde se aplican este tipo de metodologías activas, de interés para la tecnología educativa.

Respecto de la metodología basada en el marco STEAM, en cuanto a rendimiento, los resultados obtenidos en pretest y postest anuncian que, en los 4 grupos de estudio, **el alumnado pasó de demostrar nulos conocimientos, a obtener calificaciones medias superiores a 6 puntos sobre 10, como mínimo, tras solo 9 sesiones lectivas en las que enfrentaron contenidos complejos**. Asimismo, en los cuatro grupos, podemos concluir por las entrevistas, que **los resultados de satisfacción han sido, asimismo, sobresalientes**, ya que todos los grupos valoraron los cursos con 9 o más puntos sobre 10, de media. Igualmente, es destacable que no se hayan producido abandonos voluntarios en ninguno de los grupos de estudio, donde la asistencia era libre. Por lo anterior, podemos afirmar que las metodologías basadas en el marco STEAM resultan positivas.

Todo ello debe valorarse, sabiendo que se realizaron diseños instruccionales cuidadosos, que presentaban un incremento percibido de la dificultad progresivo en las entrevistas, así como por el esmero del profesor en la preparación del aula, que redunda en una baja incidencia de problemas técnicos. También es importante señalar que existía una buena sintonía entre el profesor y el alumnado, a tenor de las muestras de afecto que le dispensaron en el diario de clase y por las respuestas abiertas de los cuestionarios. **Todo ello nos informa de que la implementación satisfactoria de estas metodologías precisa un tiempo del que no siempre se dispone con currículos apretados y ratios elevadas, puesto que las aulas no estaban masificadas**. Asimismo, parece positivo que el alumnado pueda colaborar con libertad, sin prescindir de un equipo propio con el que

realizar de manera personal e intransferible todas y cada una de las actividades, lo cual ha sido común denominador en todos los grupos de estudio.

Respecto al cumplimiento de objetivos de investigación y al sentido de la hipótesis, concedemos que se han cumplido todos, y que el SATEF ayuda al profesor en su tarea docente, incrementándose los niveles de flow y rendimiento de los grupos que lo utilizan. Asimismo, **las escalas FKS y EduFlow administradas a grupos de personas presentan un inequívoco correlato cardiológico grupal**. Damos cuenta detalladamente de ello en el capítulo 10, así como en los anexos 13 y sucesivos.

En cambio, respecto de las críticas formuladas por Swann et al. (2018), que claman por un cambio de paradigma en base a que existen estados similares al *flow (clutch),* indefiniciones del concepto y errores metodológicos, precisa mayor reflexión y perspectiva temporal por nuestra parte, ya que se perciben verdades esenciales en la fenomenología del *flow*, además de que su formulación conceptual y desarrollo metodológico comienzan a ser más precisos (c.f. Kotler et al., 2022; Linden, Tops & Bakker, 2020; Tyagi et al., 2016), aunque sí coincidimos en que se requieren más trabajos.

Además, valoramos especialmente los trabajos de Kotler et al. (2022), cuyos empeños se cifran en determinar el momento neurológico preciso en el que los individuos comienzan a experimentar *flow* o su desaparición. Sin embargo, más allá de su innegable interés científico y práctico, no parece menos importante la sugestión que pudiera producir el *flow* percibido en los demás, o lo que podamos recordar realmente de las actividades practicadas (Jackman et al., 2021; Heutte et al., 2021; Shin, 2006), habida cuenta de que estos mismos autores lo definen como un "*estado alterado de consciencia con paralelismos con los estados psicodélicos"* (Kotler et al., 2022), además de que sospechamos que el *flow opera como una expectativa*, *en grupos de personas*, de lo que hablaremos en el apartado 10.4. Estamos también de acuerdo con Pels, Kleinert & Mennigen (2018) y Duncan & West (2018), en la **necesidad de emprender más estudios**.

CAPÍTULO 9. VERIFICACIÓN, CONTRASTE Y EVALUACIÓN DE OBJETIVOS.

Acerca del objetivo general (*OG*), nos planteamos *"Desarrollar un sistema computacional basado en dispositivos ponibles no invasivos para el asesoramiento sincrónico del docente en base a fisiología cardiaca grupal en aulas presenciales de Educación Primaria, en las que se utiliza metodología STEAM, con el fin de mejorar los rendimientos educativos y el bienestar del alumnado".*

Dicho objetivo se ha cumplido, lo que justificamos de manera desglosada, evaluando los objetivos específicos. No obstante, ello no ha sido fácil, puesto que también contamos en nuestro haber con resultados fallidos. Concretamente, se realizaron desarrollos tecnológicos basados en Arduino (Banzi et al, 2021), sensores fotopletismográficos DFRobot SEN0203 y aplicaciones propias en Python, que, si bien resultaron plenamente funcionales, no resultaron satisfactorias, debido a su invasividad y poca concordancia con patrones cardiológicos de mayor precisión, como los ofrecidos por dispositivos Polar H10. Tampoco resultaron satisfactorios los desarrollos que emplearon los propios sensores fotopletismográficos de los relojes inteligentes TicWris Max, debido a la poca concordancia de las señales respecto del patrón anterior. En cambio, sí resultó una combinación económica, fiable y precisa, el empleo de dichos relojes junto a bandas deportivas Polar H10, para los que desarrollamos una API de RestFul específica en Kotlin. Así, podemos afirmar que apenas se perdieron el 1% de los datos, incluso utilizando un router de tarjeta como medio económico de conexión a Internet para las aplicaciones, como observamos en la Figura 3.28, sobre metodología.

Además, cabe indicar que necesitamos comenzar validando las escalas EduFlow y FKS, al traducirlas a español y participar niños y niñas en edad escolar, en lugar de adultos. Hemos encontrado que no se verifican todas las dimensiones extraídas en la validación que originalmente ofrecieron Heutte et al. (2014) y Engeser & Rheinberg, (2008), respectivamente, mediante Análisis de Componentes Principales (tablas 3.9 y 3.10). En este sentido, solo las dimensiones D1 (absortamiento) y D3 (pérdida de autoconciencia) en la escala EduFlow, parecen cobrar sentido. También parece válido en nuestro contexto emplear la suma completa de los ítems de ambas escalas que, además, presentan una elevada correlación (tabla 3.7).

Asimismo, respecto a la metodología, debemos destacar un hecho crucial y común al análisis de datos de todos los grupos. Concretamente, debido a estándares en cardiología (c.f. Shaffer & Ginsberg, 2017; Seppälä et al., 2014), se filtraron los datos y detendenciaron, antes de extraer los parámetros cardiacos, segmentando las sesiones lectivas en fragmentos de 5 minutos. Ello ha condicionado la granularidad de los estudios, en aras de hacerlos comparables, permitiendo correlacionar temporalmente los parámetros extraídos de cada segmento, con las escalas de *flow* contestadas al finalizar las sesiones. En cambio, ofrece una visión novedosa del interior de los procesos de *flow* grupal, al tratar de comprender las causas que justifican el cumplimiento del *OE1*.

El objetivo OE1consiste en *"Determinar si existe un correlato fisiológico entre medidas de variabilidad del ritmo cardiaco grupal y las escalas FKS y EduFlow, para grupos presenciales de alumnado de Primaria"*.

En este sentido, **los resultados informaron de abundantes correlaciones significativas ($\alpha < 0.01$) entre los parámetros cardiológicos, las escalas de *flow* empleadas y sus dimensiones medias grupales, disminuyendo el número de estas, conforme avanzaban las sesiones** (Figuras 3.27 y 3.28). Asimismo, dichas correlaciones significativas mostraban coherencia en cuanto al signo de la correlación, según se determinaban respecto a parámetros cardiológicos asociados de manera antagónica a través del Sistema Nervioso Autónomo, como vemos en los anexos 13, 14 y 15. También pudo comprobarse que, al aplicar esta misma técnica, separando los grupos de estudio, se incrementaba la magnitud de las correlaciones, pasando de ser bajas a moderadas y que, analizando los resultados por sesiones, se llegan a encontrar correlaciones significativas y altas, lo cual informa de que las temáticas y actividades son un factor determinante en el *flow*, como cabía esperar. No obstante, ya que buscábamos un modelo capaz de realizar generalizaciones, para elaborarlo, optamos por tomar los promedios de todos los grupos y sesiones en estos 5 primeros minutos lectivos, donde hay mayor diversidad de actividades y temáticas. Puesto que el ritmo cardiaco medio grupal (HRg) ofrecía correlaciones comparativamente altas entre las escalas de *flow* y otros parámetros cardiológicos, siendo su coste computacional bajo y su significado interpretable con rapidez, se seleccionó como principal característica sobre la que construir los modelos. Asimismo, se pudo constatar que la fuerza de la correlación entre HRg, el *flow* y el absortamiento cognitivo grupal, medidos con la escala EduFlow al finalizar las sesiones, era elevado en el primer tramo de 5 minutos de clase, máxima, en el segundo tramo, e iba declinando bruscamente, conforme avanzaban las sesiones (Figura 3.27).

Con respecto al *OE2 ‘‘Desarrollar un sistema de bajo coste computacional basado en dispositivos ponibles de consumo poco invasivos, con el fin de estimar la prevalencia de flow en grupos presenciales para asesorar al docente, por medio de modelos matemáticos que superen el estado del arte actual’’.*

***A*firmamos que se ha alcanzado en un modo que no esperábamos, dando respuesta a este objetivo en forma de Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow (SATEF).** Dicho sistema se basa en un modelo matemático perfectamente inteligible. Emplea regresiones polinómicas cuadráticas de una sola característica entre el ritmo cardiaco medio grupal (HRg), la escala EduFlow y el absortamiento cognitivo, expresadas como porcentajes medios grupales, así como con un parámetro, denominado barreras didácticas. Se demostró la presencia de una simetría especular casi perfecta respecto del eje X, al normalizar en Z todas las características y colocarlas sobre el mismo gráfico de dispersión (Figura 3.34). También, por medio del algoritmo K-medias, se identificaron en función de HRg y su desviación estándar, 4 grupos con fenomenologías distintas en cuanto a niveles de prevalencia de *flow (figuras 3.36 y 3.37)*. Resumidamente, en ambos grupos de control, encontramos correlaciones negativas entre el *flow* grupal y el absortamiento cognitivo, con respecto al ritmo cardiaco medio grupal. También, apreciamos una correlación positiva, con una gráfica especular respecto a la anterior, que parece informar de que, a mayor prevalencia de *flow,* menores barreras pedagógicas se constatan y que, a su vez, las experiencias óptimas grupales acontecen cuando el alumnado se muestra calmado (bajas pulsaciones relativas), pero no expuesto a la monotonía ni a excesivos altibajos (desviación estándar de HRg, moderada).

También *se alcanza el objetivo OE1, con relación al SATEF*, ya que este es un sistema de costes contenidos, que informa al docente del estado de *flow* grupal del aula y del absortamiento cognitivo esperable en los grupos experimentales, tras los 5 primeros minutos lectivos. Ello habilita al docente para articular la estrategia didáctica adecuada con suficiente antelación,

alcanzando experiencias óptimas grupales, que consistieron en moderar el ritmo de las sesiones, de acuerdo a lo aconsejado por el SATEF (tabla 3.26).

Por otra parte, al emplear el SATEF, se produjo un impacto determinante. Ello lo corrobora el hecho de que *las correlaciones entre HRg y el porcentaje de escala de flow grupal, se invirtieron respecto a los grupos de control (comparar Figuras 3.38 Y 3.45), donde el SATEF obligaba a modificar la conducta del docente.*

Además, *el uso del SATEF demuestra una mejora de las correlaciones entre medidas fisiológicas y escalas de flow que superan el estado del arte reportado por Tordet et al. (2021), pasando de correlaciones lineales moderadas para individuos (r = 0.45), a altas (r= 0.74, n= 16, Sig. = 0.001, f = 0.86, $1 - \beta = 0.98$, $\alpha = 0.01$), en el conjunto de ambos grupos experimentales, y virtualmente perfectas (r= 0.98, Sig. = 0.02, f = 0.99, $1 - \beta = 0.93$, n = 4, $\alpha = 0.05$), en el grupo experimental de robótica con electrónica.* Dichas correlaciones son elevadas, significativas, presentan un gran tamaño del efecto y potencia estadística, lo cual informa de la importancia del hallazgo, a pesar de nuestra pequeña muestra (c.f. Cohen, 1992; Bono & Arnau Gras, 1995; Cárdenas & Arancibia, 2014). También cabe emplear el SATEF para identificar módulos instruccionales susceptibles de mejora, debido a que se experimenta en ellos menos *flow*. Ello parece suceder con el módulo de robótica con electrónica practicado por uno de los grupos experimentales. Gracias a que empleamos métodos mixtos, podemos razonablemente aventurar que, al no poder ver el alumnado cómo el profesor montaba los circuitos a la vez que se producían las explicaciones, como sí ocurría con lo que programaba en Scratch o diseñaba en 2D-3D en el proyector, pueda tener relación. Además, los errores eran más determinantes, lo cual ponía a prueba la tolerancia a la frustración del alumnado, como se manifiesta en el diario del profesor.

El objetivo *OE3* consiste en *"Determinar si el empleo de los sistemas desarrollados mejora los rendimientos educativos"*.

En este sentido, **en los grupos que emplearon el SATEF, se eliminó el fracaso académico**, puesto que el porcentaje de suspensos en los dos grupos de control fue del 14% y nulo, en los dos grupos experimentales. **También se dieron 3 resultados académicamente perfectos en los grupos experimentales y ninguno en los grupos de control**. No nos fue posible realizar contrastes de hipótesis para determinar la significatividad de estas observaciones, debido a que es técnicamente imposible, al haber siempre casos nulos en alguno de los grupos a comparar. También cabe destacar que fueron niñas quienes obtuvieron calificaciones perfectas en ambos grupos experimentales, lo cual es reseñable, por lo manifestado sobre las preocupaciones de la OCDE (2021) y la UNESCO (2019) respecto a la baja afinidad de las niñas respecto a la metodología STEAM. De la misma manera, en el grupo experimental de robótica, *hubo significativamente más sobresalientes que en el de control* χ^2 *(1, N = 28) = 7.5959, Sig. = 0.00585*. Asimismo, *se incrementaron las calificaciones medias en los grupos experimentales, aunque las diferencias solo resultaron significativas y grandes en el grupo experimental de robótica, frente al de control (t= -2.140, Sig. = 0.042, d = 0.82,* $1 - \beta = 0.53$*).*

Finalmente, el *OE4* consiste en *"Determinar si el empleo de los sistemas desarrollados mejora los niveles de bienestar grupal, establecidos con respecto a la escala EduFlow"*.

En este sentido, **aumentaron los niveles de *flow* en los grupos experimentales frente a los de control**, corroborado mediante una prueba t de Student, cerciorando previamente la factibilidad de aplicarla (t= -4.032, gl = 28, Sig. < 0.001, d = 1.480633, 1-β = 0.95, α = 0.01). Dicho resultado es estadísticamente significativo, presenta un tamaño del efecto y potencia

estadística grandes, lo cual sugiere que los resultados pudieran ser generalizables en contextos similares, aunque nuestro tamaño muestral sea modesto (c.f. Cohen, 1992; Bono & Arnau Gras, 1995; Cárdenas & Arancibia, 2014).

Por lo anterior, dando cumplido el objetivo general (OG) a través de los específicos, cabe dar una respuesta afirmativa a nuestra hipótesis: "El empleo de un sistema computacional de asesoramiento docente sincrónico respecto del estado de flow grupal, mejorará los niveles de flow y los rendimientos educativos". En tal caso, concurren altos niveles de flow y rendimiento educativo, tal y como era esperable en base a lo informado por Csikszentmihalyi (1975), entre otros.

CAPÍTULO 10. OTRAS APORTACIONES ORIGINALES.

El análisis de los datos de esta tesis y su tratamiento, han arrojado inesperadamente luz sobre aspectos controvertidos del flow, que pudieran tener alcance para, al menos, establecer nuevas hipótesis a contrastar en trabajos futuros. Los consideramos, por tanto, aportaciones originales no contempladas en los objetivos de tesis, en contraste con el propio desarrollo del SATEF, de lo dicho sobre la metodología STEAM y sobre el correlato fisiológico de las escalas EduFLow y FKS para grupos de personas, de los que ya se ha hablado.

10.1. La hipótesis del vórtice atractor.

En primer lugar, encontramos hechos de relevancia respecto a la precondición del equilibrio entre la dificultad percibida en las tareas y las competencias propias, advertida en Finneran & Zhang (2005). Así recogimos dicha variable en los cuestionarios administrados a los grupos de control (ítems A1, A2 y A3 en el anexo 7). Tras proyectar la variable que mide el equilibrio percibido (A3) mediante gráficos de Poincaré para cada grupo, se dibujan líneas de flujo que se dirigen o producen vorticidad alrededor de un área que podría coincidir con la Zona de Desarrollo Próximo de Vygotsky para el *flow*, definido por Kiili et al. (2012). Dichos centros atractores con vorticidad marcados por las líneas de flujo (Figuras 3.54 y 3.55), manifiestan una dificultad percibida ligeramente superior a la óptima, respecto a las capacidades del discente, por lo que, si se consiguen los objetivos didácticos, puede atribuirse a los andamiajes (ayudas no completamente resolutivas) que ofrece el profesor (c.f. Vygotsky, 2011). En cualquier caso, el empleo de técnicas de análisis de datos no lineal permite ver la importancia educativa que tiene para los grupos el equilibrio percibido en las tareas, más allá de que la correlación entre la condición de *flow* y la variable equilibrio demostrada por Shin (2006) sea baja, aunque significativa ($r = 0.206$, Sig. < 0.01). También, que el equilibrio perfecto y monótono tampoco sea conveniente, como informan Løvoll & Vittersø (2014), aunque sin desviaciones extremas respecto a este ideal. Lo hemos expuesto en esta tesis bajo la *hipótesis del vórtice atractor*, que debería tratarse en otros ciclos de Investigación-Acción.

10.2.Manejo del aula en términos de metacogniciones de *flow*.

En segundo lugar, hemos mostrado para ambos grupos de control gráficos de concordancia de señales de Bland-Altman, donde se comparan por sesiones los valores medios grupales de *flow* manifestados por el alumnado, respecto al del profesor, para dos escalas distintas (EduFlow y FKS), así como para temáticas STEAM diferentes (Figuras 3.29-3.32). Dichos gráficos demuestran una concordancia tan elevada que nos resultó llamativa, ya que las tareas que realiza el alumnado, así como los roles, difieren claramente de las del profesor-investigador. Por consiguiente, sugerimos como hipótesis a evaluar en futuros trabajos, que

el profesor maneja los grupos escolares precisamente en términos metacognitivos de *flow* (c.f. Wilson & Moneta, 2016), lo cual es coherente con la fenomenología observable en un aula presencial. Así, vemos en el diario de clase que es corriente que el profesor se interrogue acerca de sentimientos de estrés o aburrimiento propios y del alumnado, que trate de averiguar por su lenguaje corporal o sus verbalizaciones si trabaja de manera fluida y sin esfuerzo aparente, concentrados, disfrutando, si la sesión se antojó corta sin serlo realmente. Ello refuerza la importancia que las experiencias óptimas tienen en la teoría y práctica educativa, así como de contar con docentes dotados de empatía positiva, además de con conocimientos. Se ha expuesto lo anterior a modo de hipótesis para otros ciclos de Investigación-Acción, que plantea que *los profesores manejan las clases en términos metacognitivos de flow.*

10.3. Signo de la correlación entre HR y escalas de *flow*.

En tercer lugar, *añadimos luz a la controversia sobre la correlación (positiva, negativa o nula) entre el ritmo cardiaco y las escalas de flow (c.f. Knierim et al., 2018),* considerando grupos de personas. En este sentido, hemos verificado correlaciones negativas en los dos grupos de control y positivas en los dos experimentales. La diferencia puede atribuirse razonablemente al cambio radical de conducta que el SATEF impone al docente. En ese sentido, con los grupos de control, sitúa al alumnado en un contexto más estresante, mientras que, en los experimentales, sería más calmado, puesto que se repiten varias veces las explicaciones y ejemplos. Por consiguiente, el signo de la correlación informa de dichos contextos. También encontramos explicaciones plausibles ante la nula correlación entre HRg y el *flow* o sus dimensiones grupales, en base a nuestros propios datos. Por ejemplo, en ambos grupos de control, cuando tenemos HRg media-alta y muy baja SDg, se agruparon en el mismo clúster tres puntos experimentales (Figuras 3.35-3.37). Simplemente, no se verifica *flow* o es relativamente muy bajo y, por consiguiente, no se infiere correlación entre variables. También puede llegarse a esta conclusión sobre que no hay correlación entre variables si consideramos un tamaño de muestra menor y existe un sesgo en la selección de casos a considerar. Finalmente, cabe atribuirse la nula correlación a problemas metodológicos, causados por participantes que responden los cuestionarios "*quemados*" (traducido del término *respondent burden* de Bradburn, 1978), o a que los dispositivos de medida sean erráticos, como podría habernos sucedido al emplear fotopletismografía.

10.4. El *flow* como expectativa.

En cuarto lugar, desde las Teorías de la Expectativa-Valor, se sostiene que, *"las expectativas de éxito y logro predicen los resultados de logro, que incluyen rendimiento, persistencia y elección de las actividades"* (Wigfield, Tonks & Klauda, 2009, p. 59). Además, hemos corroborado que, las correlaciones significativas con α= 0.01 entre parámetros HRV y las escalas de *flow* medias grupales analizadas (EduFlow y FKS), así como sus dimensiones, son más abundantes en los 5 minutos iniciales de la clase y decaen dramáticamente, conforme avanzan las lecciones (Figuras 3.27-3.28). Ello podría significar que se crea una expectativa al comienzo de las sesiones lectivas, que se define o puede medirse respecto de constructos de *flow.* Dichos constructos dimanan de cuestionarios validados, que describen y miden adecuadamente el constructo al que hacen referencia, como demostramos en el estado del

arte y en la revalidación de las escalas que empleamos. *Concretamente, hemos encontrado respaldo en los 5 primeros minutos lectivos a través de un correlato cardiológico grupal (HRg) que explica la mayor parte de la varianza* (r = 0.68 para la escala EduFlow en los grupos de control; r = 0.91 para la dimensión absortamiento cognitivo en los grupos de control; r = 0.74 para la escala EduFlow en los grupos experimentales; r = 0.98 para la escala EduFlow en el grupo experimental de robótica educativa con circuitos). Por ende, *pensamos que la mera expectativa de alcanzar experiencias óptimas en los grupos escolares presenciales pudiera ser una causa de la persistencia en las actividades y no solo fuese atribuible a la experimentación o ausencia efectiva de flow*, ya que la correlación con HRg decae a lo largo de las lecciones y no se han dado abandonos voluntarios en ninguno de los grupos. Muy al contrario, el profesor debía persuadir al alumnado para que abandonase el aula, incluso cuando después de la clase fuese la hora del recreo, como se refleja en el diario. Debemos hacer notar, asimismo, que este enfoque difiere del manifestado por Wigfield, Tonks & Klauda (2009), ya que las expectativas de éxito o logro no son excluyentes, puesto que el análisis de las entrevistas permiten identificar dichas expectativas, pero identificamos también una expectativa mayoritaria en todos los grupos no considerada anteriormente (la de experimentar *flow*), caracterizada por expectativas de diversión (Figura 3.57), lo cual es inherente a las experiencias óptimas ("*flow is fun" o "el flow es diversión*", según Privette, 1983, p. 1361, entre otros). Asimismo, ello puede tener relevancia teórica, pero también para la práctica docente, ya que es conocido que el profesorado trata de ganar la atención del alumnado desde el comienzo de las clases, pero puede postergar las actividades más motivadoras o relajantes al final de las sesiones, en caso de quedar tiempo, ante la necesidad de acabar los temarios y albergar ciertos prejuicios acerca de la utilidad pragmática de las mismas (Clerici & Molo, 2022). La solidez de esta hipótesis, en base a una triangulación de datos de distinta naturaleza, aconseja profundizar en ella, por medio de diseños de investigación específicos, ya que apunta a una revisión de los postulados de la Teoría Flow. Denominamos a lo anterior, la hipótesis sobre el *flow* como expectativa.

CAPÍTULO 11. LIMITACIONES.

Todo trabajo tiene limitaciones. La primera limitación resulta inevitable, ya que existen numerosas micro teorías sobre la motivación y algunas más del *self* (autodeterminación y autoeficacia, por ejemplo), por lo que quedan vastos aspectos no tratados aquí. Igualmente, solo empleamos una metodología basada en STEAM, sabiendo que existen otras muchas.

Las segundas, respecto a consideraciones temporales. En este sentido, la extensión de los estudios, si bien son comparativamente largos en cuanto al número de sesiones y tiempo dedicado a ellas respecto a otros trabajos, podría incrementarse. Asimismo, los estándares cardiológicos, limitan la granularidad de los análisis a tramos de 5 minutos.

Además, somos conscientes del modesto tamaño de muestra, aunque la potencia estadística de diversos resultados que acabamos de mostrar ($1 - \beta > 0.80$) atenúe dicha objeción (c.f. Cárdenas & Arancibia, 2014). También podría existir un sesgo cultural, debido a la naturaleza cuasiexperimental de nuestra investigación, si bien la cultura no es un rasgo diferencial en la experiencia de *flow* (c.f. Moneta, 2021, entre otros). Respecto a la edad de los participantes, se constata un sesgo impuesto por la necesidad de avances con ciertos grupos de edad, precisamente. Así, el alumnado participante pertenece a cursos altos de Primaria, donde el desarrollo psicológico y bagaje de conocimientos esperado difiere respecto al alumnado de otras edades. Además, se cuenta con un espacio bien aclimatado, iluminado y con abundantes recursos, lo cual debe entenderse como precondición necesaria para obtener estos resultados. Además, respecto a la selección de participantes, el profesor-investigador siempre fue el mismo, por mucho que el SATEF le obligase a actuar con los grupos experimentales de manera distinta a la que su estilo de enseñanza le sugería. Por contra, al ser la misma persona la que da las clases, cambiando únicamente su estilo docente, con grupos distintos y varias temáticas STEAM, hacemos valioso el estudio, al acotar condicionantes en los experimentos.

Asimismo, pueden darse limitaciones atribuibles a las características del modelo matemático desarrollado, así como de los algoritmos seleccionados, sabiendo que hay otros parámetros que también correlacionan con el *flow*, como mostramos en los anexos 13 y sucesivos.

También percibimos limitaciones propias de los equipos de registro de datos, debido a presupuestos contenidos, que dimanan en la selección de equipos con poca potencia computacional, condicionando a su vez el coste computacional asumible para las aplicaciones desarrolladas. También, debido a la naturaleza de los dispositivos ponibles, cabe recordar que el alumnado se quitaba a veces los relojes, los apagaba accidentalmente o se los descolocaba, dejando de registrar datos para esa sesión. También genera limitaciones el hecho de que los cuestionarios en papel no podían ser muchos ni muy largos, para que el alumnado no rehusase contestarlos. Por ello, empleamos solo tres escalas concretas de *flow*, respecto a la diversidad señalada en el estado del arte de esta tesis.

No podían tampoco dejar de apuntarse limitaciones éticas, puesto que, sin ellas, este trabajo no se hubiese ni planteado. Así, para garantizar la intimidad de los participantes, no se han podido videograbar las sesiones, con lo cual, el diario del profesor y el digital, son nuestras únicas herramientas para recoger observaciones fenomenológicas directas. Tampoco hemos podido hacer seguimientos individuales, que terminarían haciendo identificables a los participantes. También se pierde tiempo en colocar los dispositivos, teniendo en cuenta

que seguimos un estricto protocolo de colocación de las bandas deportivas que evita el contacto físico. Por ello, hasta que se encuentra interiorizado, se producen limitaciones en el tiempo disponible para investigar y el profesor-investigador se estresa en consecuencia, pudiendo afectar sus registros cardiacos. Además, el alumnado está en su perfecto derecho de no responder a los cuestionarios, parcial o totalmente, sin dar explicaciones a nadie, de modo que, a veces, no sabemos si no respondieron por olvido, cansancio o deliberadamente. De todas las maneras, ello representa hechos puntuales, sobre todo en los grupos experimentales, quizás porque la presencia continua de los informes del SATEF en lugar visible, hace más consciente al alumnado-participante de que su colaboración es importante para el profesor-investigador, a quien aprecian. Tampoco registramos electrocardiogramas, cuya funcionalidad habilita la librería Polar SDK, la cual sirve de base para las aplicaciones Android desarrolladas, substituyéndolos por valores cardiacos promedio anonimizados, para no considerar los datos recabados como de carácter personal.

Finalmente, hay limitaciones derivadas de las faltas de asistencia del alumnado en algunas sesiones, debido a que investigamos en contextos educativos reales. Dichas ausencias, en palabras de los tutores y tutoras de los grupos, lo fueron por enfermedad o concurrencia de días feriados no oficiales, por lo que entendemos que son de naturaleza aleatoria.

CAPÍTULO 12. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.

De manera inmediata, opinamos que el SATEF podría mejorarse en futuros ciclos de Investigación-Acción. Por ejemplo, estimando el *flow* grupal alcanzable sin modificar la conducta docente, frente al esperable si la modificase, anticipando el ritmo óptimo de las lecciones y enriqueciendo la toma de decisiones informada. También, explorando el uso de dispositivos menos invasivos todavía, como relojes de mayor precisión y fiabilidad en la medida del ritmo cardiaco, de manera que se invierta menos tiempo en la adecuada colocación de bandas deportivas.

Asimismo, queda gran trabajo por hacer al extender a otros centros y con más participantes los trabajos aquí realizados, así como a otros rangos de edad. Ello también incluye trabajar con otros docentes, metodologías y temáticas distintas de STEAM. En tal caso, el carácter lúdico de las actividades desarrolladas en esta tesis apunta a la gamificación, como primera candidata.

Como se ha comentado, también dejamos planteadas cuatro hipótesis sugerentes que se perfilan al tratar de comprender los datos recopilados en esta tesis.

Igualmente, pueden encaminarse líneas de trabajo hacia la individualización y personalización, frente al enfoque grupal, aunque resulta difícil para el profesor visualizar tanta información a la vez, mientras tiene que atender al alumnado, dar las clases y, en nuestro caso, realizar tareas investigadoras. Es posible que requiriese apoyo específico a tal fin, modificando los diseños de investigación, o efectuar los análisis de manera diacrónica.

También se han podido observar, con respecto al profesor, signos de estrés. Pueden identificarse por el extremo aplanamiento de las elipses en los diagramas de Poincaré definidas por los parámetros S1 y S2 de variabilidad del ritmo cardiaco. Ello nos recuerda que estas técnicas permiten monitorizar factores de riesgo laboral, del bienestar físico y psicológico del profesorado.

Además, nuestro trabajo informa sobre modos alternativos de evaluar automáticamente la práctica docente y los diseños instruccionales, donde encontraríamos un extenso panorama. También, para validar mediante técnicas fisiológicas distintos tipos de cuestionarios psicométricos, empleados en educación y, especialmente, los relativos al *flow,* que no lo estuviesen.

Quisiéramos valorar, como líneas de investigación futuras, el uso de dispositivos que detecten multimodalmente parámetros fisiológicos, o bien diversos parámetros de igual naturaleza, usando técnicas de Deep Learning, explorando áreas de confluencia entre teorías afines (p.e., las del *self*), dentro de la Psicología Positiva.

Finalmente, desearíamos mencionar de manera destacada que, a pesar de las diferencias tan notables en cuanto a metodología y a conceptualización matemática, lo expresado en este manuscrito parece apoyar fuertemente los postulados para el *flow* individual del modelo matemático propuesto por Melnikof, Carlson & Stillman (2022). En dicho modelo, entran en juego conceptos de entropía de la información y agentes inteligentes, que se aprecian netamente en lo manifestado en los apartados 8.4 y 10.1 (hipótesis del vórtice atractor). En este sentido, las curvas de flujo en las gráficas de Poincaré para la variable equilibrio grupal, encaminándose erráticamente hacia el vórtice atractor, como consecuencia de la autoorganización del sistema abierto profesor-alumnado, causada por un flujo de neguentropía que iría desde el profesor al alumnado, son notablemente

explícitas. Igualmente, las concordancias entre cuestionarios de *flow* de alumnado y profesor, evidenciadas mediante gráficas de Bland-Altman del apartado 6.44, con una línea de equilibrio y unos intervalos de confianza por debajo del valor cero, sugieren que la concordancia entre señales se hace a costa de trabajo del profesor, puesto que experimenta menos *flow* que la media del alumnado. Igualmente, hemos podido constatar que el profesor experimentó estrés permanente durante todas las sesiones prácticas, mientras que el alumnado pudo disfrutar de las lecciones. Consideramos que los mayores niveles de estrés medidos del profesor (y expresados verbalmente), justifican una mayor entropía del discente, por activación del sistema nervioso simpático y que el bienestar del alumnado, medido por una mayor activación del sistema nervioso parasimpático, representa una menor entropía, que se hace a costa de neguentropía del profesor, en este caso, un claro agente inteligente. También destacaríamos que, en los grupos experimentales, el profesor manifiesta menores niveles de estrés y necesita desplazarse menos por la clase, respecto de los grupos de control. De ello puede dar cuenta también el acelerómetro del reloj y los clics en el panel de control, dispuesto en un lugar fijo del aula. Esto puede interpretarse de nuevo debido a que hay un flujo de neguentropía, en forma de información de calidad, desde el SATEF al profesor. Las líneas de flujo en los gráficos de Poincaré para la variable equilibrio grupal de los grupos experimentales, menos erráticas en la Figura 3.55, informan en el mismo sentido, puesto que los menores índices de estrés del profesor se consiguen a costa de energía del sistema computacional físico que conforma el SATEF (servidor, ordenadores, relojes, rúter, etc.). Sin embargo, una formalización matemática que respete la intrincada nomenclatura matemática de la propuesta de Melnikof, Carlson & Stillman (2022), para generalizarla a contextos grupales e integrar variables fisiológicas, requiere trabajos corales de calado, que dejamos para tiempos venideros. Además, podría incorporar la hipótesis de que el *flow* pudiese operar como una expectativa, marcada de manera incipiente en esta tesis, y no solo como consecuencia de una vivencia fisiológica inmediata. También resultaría atractivo que dicha evolución del modelo de Melnikof, Carlson & Stillman (2022), considerase antecedentes del *flow* ligados a rasgos de personalidad, que han de estar ocultos o implícitos, pero que podrían hacerse explícitos. En nuestro modelo matemático, tampoco pudimos evidenciarlos, debido a que solo un participante no era propenso a experimentar *flow,* según el test SFPQ, si bien ni los test de prevalencia, ni las observaciones directas, ni tampoco las entrevistas individuales, lo confirman.

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Referencias

Abbeel, P., & Ng, A. Y. (2004). Apprenticeship learning via inverse reinforcement learning. *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning*, 1.

Achig-Balarezo, D. (2019). Positivismo, subjetivismo y pragmatismo. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Cuenca*, 37(1), 5-8.

ADL (2009a). SCORM. Advanced distributed learning. http://www.adlnet.org/Technologies/scorm/default.aspx Accessed 26.04.09

ADL (2009b). SCORM 2004, 4th edition documentation. Advanced distributed learning. http://www.adlnet.gov/Technologies/scorm/SCORMSDocuments/2004%204th%20 Edition/Documentation.aspx Accessed 26

Agarwal, R., & Karahanna, E. (2000). Time Flies When You're Having Fun: Cognitive Absorption and Beliefs about Information Technology Usage. *MIS Quarterly*, *24*(4), 665–694. https://doi.org/10.2307/3250951

Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM Education and Student Creativity: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, *11*(7), 331. https ://doi.org/10.3390/educsci11070331

Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S. (2020). The k-means Algorithm: A Comprehensive Survey and Performance Evaluation. *Electronics*, *9*(8), Article 8. https://doi.org/10.3390/electronics9081295

Aizenberg, I., Aizenberg, N. N., & Vandewalle, J. P. (2000). *Multi-valued and universal binary neurons: Theory, learning and applications*. Springer Science & Business Media.

Al-Ajlan, A., & Zedan, H. (2008). Why Moodle. 2008 12th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, 58-64. https://doi.org/10.1109/FTDCS.2008.22

Alameda, C., Sanabria, D., & Ciria, L. F. (2022). The brain in flow: A systematic review on the neural basis of the flow state. *Cortex*, *154*, 348-364. https ://doi.org/10.1016/j.cortex.2022.06.005

Alberts, B. (2013). Impact factor distortions. *Science*, 340(6134), 787-787. Doi : 10.1126/science.1240319

Al-Emran, M., Al-Nuaimi, M. N., Arpaci, I., Al-Sharafi, M. A., & Anthony Jnr., B. (2023). Towards a wearable education: Understanding the determinants affecting students' adoption of wearable technologies using machine learning algorithms. *Education and Information Technologies*, *28*(3), 2727-2746. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11294-z

Allen, P. A., Grabbe, J., McCarthy, A., Bush, A. H., & Wallace, B. (2008). The Early Bird Does Not Get the Worm: Time-of-Day Effects on College Students' Basic Cognitive Processing. *The American Journal of Psychology*, *121*(4), 551-564. https://doi.org/10.2307/20445486

Allina, B. (2013). The evolution of a game-changing acronym: Why government recognition of STEAM is critical. ARCADE, 31(2). Disponible en http://arcadenw.org/article/the-evolution-of-a-game-changing-acronym

Álvarez López, G., & Matarranz García, M. (2020). Calidad y evaluación como tendencias globales en política educativa: Estudio comparado de agencias nacionales de evaluación en educación obligatoria en Europa. *Revista complutense de educación*. https://doi.org/10.5209/rced.61865

Amabile, T. M., Hill, K. G., Hennessey, B. A., & Tighe, E. M. (1994). *The Work Preference Inventory: Assessing intrinsic and extrinsic motivational orientations. Journal of Personality and Social Psychology, 66(5), 950-967.* Doi:10.1037/0022-3514.66.5.950

Andersen, F. (2016). Using ESM to Study Flow in a STEM Project. In *Flow Experience: Empirical Research and Applications* (pp. 375–388). Springer International Publishing. Doi 10.1007/978-3-319-28634-1_10.

Arsalan, A., Anwar, S. M., & Majid, M. (2022). *Mental Stress Detection using Data from Wearable and Non-wearable Sensors: A Review*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2202.03033

Asakawa, K. (2010). Flow experience, culture, and well-being: How do autotelic Japanese college students feel, behave, and think in their daily lives? *Journal of Happiness Studies*, 11, 205–223. https://doi.org/10.1007/s10902-008-9132-3

Atlas.ti (2022). Turn your data into qualitative insights, faster and easier. ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH. Disponible en https://atlasti.com/

Ausubel, D.; Novak, J., & Hanesian, H. (2001). *Estrategias para un aprendizaje significativo*. Mc Graw Hill. México

Bakker, A. B. (2008). The work-related flow inventory: Construction and initial validation of the WOLF. Journal of Vocational Behavior , 72(3), 400–414. Doi:10.1016/j.jvb.2007.11.007

Bakker, A., Ljubin Golub, T., & Rijavec, M. (2017). Validation of the Study-Related Flow Inventory (WOLF-S) / Validacija Inventara zanesenosti u studiranju (WOLF-S). *Croatian Journal of Education - Hrvatski časopis za odgoj I obrazovanje*, *19*(1). https://doi.org/10.15516/cje.v19i1.2194

Bakker, A. B., & van Woerkom, M. (2017). Flow at work: A self-determination perspective. *Occupational Health Science*, 1(1), 47-65. doi: 10.1007/s41542-017-0003-3

Bandura, A. (1997). Self-efficacy: The exercise of control. New York: Freeman.

Banihashem, S. K., Aliabadi, K., Pourroostaei Ardakani, S., Delaver, A., & Nili Ahmadabadi, M. (2018). *Learning Analytics: A Systematic Literature Review. Interdisciplinary Journal of Virtual Learning in Medical Sciences*, 9(2). https://doi.org/10.5812/ijvlms.63024

Barbedo, J. G. A. (2018). Impact of dataset size and variety on the effectiveness of deep learning and transfer learning for plant disease classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, *153*, 46-53. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.013

Barfield, W., & Caudell, T. (2001). Basic concepts in wearable computers and augmented reality. In *Fundamentals of wearable computers and augmented reality* (pp. 19-42). CRC Press.

Bassi, M. & Delle Fave, A. (2016). Flow in the context of daily experience fluctuation. In *Flow Experience: Empirical Research and Applications* (pp. 181–196). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28634-1_12

Bassi, M., Delle Fave, A., Steca, P., & Caprara, G. V. (2018). Adolescents' regulatory emotional self-efficacy beliefs and daily affect intensity. *Motivation and Emotion*, *42*(2), 287–298. https://doi.org/10.1007/s11031-018-9669-3

Bassi, M., Ferrario, N., Ba, G., Delle Fave, A., & Viganò, C. (2012). Quality of experience during psychosocial rehabilitation: a real-time investigation with experience sampling method. *Psychiatric Rehabilitation Journal*, *35*(6), 447–453. http s://doi.org/10.1037/h0094578

Bassi, M., Sartori, R. D. G., & Delle Fave, A. (2010). Agency and Its Role in Human Behavior and Experience The Monitoring of Experience and Agency in Daily Life: A Study with Italian Adolescents. In M. Balconi (Ed.), *Neuropsychology of the Sense of Agency* (pp. 81–105). Springer-Verlag.

Benavides, L. M. C., Tamayo Arias, J. A., Arango Serna, M. D., Branch Bedoya, J. W., & Burgos, D. (2020). Digital transformation in higher education institutions: A systematic literature review. *Sensors*, *20*(11), 3291.

Bengio, Y., Goodfellow, I., & Courville, A. (2017). *Deep learning*. Cambridge, MA, USA: MIT press.

Bian, Y., Yang, C., Gao, F., Li, H., Zhou, S., Li, H., Sun, X., & Meng, X. (2016). A framework for physiological indicators of flow in VR games: Construction and preliminary evaluation.

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Personal and Ubiquitous Computing, *20*(5), 821-832. https://doi.org/10.1007/s00779-016-0953-5

Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. New York: Springer

Bohl, O., Scheuhase, J., Sengler, R., & Winand, U. (2002). The sharable content object reference model (SCORM)—A critical review. *International Conference on Computers in Education, 2002. Proceedings.*, 950-951 vol.2. https://doi.org/10.1109/CIE.2002.1186122

Bland, J. M., & Altman, D.G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*, *327*(8476), 307-310. doi:10.1016/s0140-6736(86)90837-8

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical methods in medical research*, *8*(2), 135-160. https://doi.org/10.1177/096228029900800204Bloom, B. (1990). Taxonomía de los objetivos de la educación. Buenos Aires: El Ateneo.

Bloomberg, L. D. & Volpe, M. (2019). Completing Your Qualitative Dissertation (4.ª ed.). London: SAGE. ISBN 9781544336527

Boudreau, P., Mackenzie, S. H., & Hodge, K. (2020). Flow states in adventure recreation: A systematic review and thematic synthesis. *Psychology of Sport and Exercise*, *46*, 101611. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.101611

Boyd, D. & Crawford, K. (2012). Critical Questions for Big Data. *Information, Communication & Society*, *15*(5), 662-679. https://doi.org/10.1080/1369118X.2012.678878

Bradburn, N. (1978, August). Respondent burden. In *Proceedings of the Survey Research Methods Section of the American Statistical Association* (Vol. 35, p. 40). Alexandria, VA, USA: American Statistical Association. http://www.asasrms.org/Proceedings/papers/1978_007.pdf

Bradley, V. M. (2021). Learning Management System (LMS) use with online instruction. International Journal of Technology in Education, 4(1), 68-92.

Bray, T. (2014). *The javascript object notation (JSON) data interchange format* (No. rfc7159).

Brown, M. B. & Forsythe, A. B. (1974). Robust Tests for the Equality of Variances. *Journal of the American Statistical Association*, *69*(346), 364-367. https://doi.org/10.1080/01621459.1974.10482955

Bryce, R.M. & Sprague, K.B. (2012). Revisiting detrended fluctuation analysis. *Sci. Rep.* 2: 315. doi:10.1038/srep00315.

Bryman, A. (2016). *Social Research Methods*. Oxford University Press.

Bustos-López, M., Cruz-Ramírez, N., Guerra-Hernández, A., Sánchez-Morales, L. N., Cruz-Ramos, N. A., & Alor-Hernández, G. (2022). Wearables for Engagement Detection in Learning Environments: A Review. *Biosensors*, *12*(7), 509. https://doi.org/10.3390/bios12070509

Calvo, T., Castuera, R., Ruano, F.J., Vaíllo, R. & Gimeno, E. (2008). *Psychometric Properties of the Spanish Version of the Flow State Scale. The Spanish journal of psychology, 11(2), 660–669.* doi:10.1017/s1138741600004662

Candlin, C. N. (1990). Hacia la enseñanza de lenguas basada en tareas. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, *2*(7-8), 33-53. https://doi.org/10.1080/02147033.1990.10820941

Cazau, P. (2011). Evolución de las relaciones entre la epistemología y la metodología de la investigación. Paradigmas, 3(2), 109-126.

Chakraborty, S., Tomsett, R., Raghavendra, R., Harborne, D., Alzantot, M., Cerutti, F., Srivastava, M., Preece, A., Julier, S., Rao, R. M., Kelley, T. D., Braines, D., Sensoy, M., Willis, C. J., & Gurram, P. (2017). Interpretability of deep learning models: A survey of results. *2017 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computed, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City*

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Innovation (SmartWorld/SCALCOM/UIC/ATC/CBDCom/IOP/SCI), 1-6. https://doi.org/10.1109/UIC-ATC.2017.8397411

Chakriswaran, P., Vincent, D. R., Srinivasan, K., Sharma, V., Chang, C.-Y., & Reina, D. G. (2019). Emotion AI-Driven Sentiment Analysis: A Survey, Future Research Directions, and Open Issues. *Applied Sciences*, *9*(24), Article 24. https://doi.org/10.3390/app9245462

Chan, T. S., & Ahern, T. C. (1999). Targeting Motivation-Adapting Flow Theory To Instructional Design. *J. Educational Computing Research*, *21*(2), 151–163.

Chanchí G., G. E., Campo, W. Y., Amaya, J. P., & Arciniegas, J. L. (2011). Esquema de servicios para Televisión Digital Interactiva, basados en el protocolo REST-JSON. *Cuadernos De Informática*, *6*(1), 233–240. Recuperado de https://www.seer.ufrgs.br/index.php/cadernosdeinformatica/article/view/v6n1p233-240/11807

Challoner, A. V. J (1979). Photoelectric plethysmography for estimating cutaneous blood flow. *Non-Invasive Physiological Measurements*, 1, 125–151.

Chanel, G., Rebetez, C., Bétrancourt, M., & Pun, T. (2008). Boredom, engagement and anxiety as indicators for adaptation to difficulty in games. *Proceedings of the 12th International Conference on Entertainment and Media in the Ubiquitous Era*, 13-17. https://doi.org/10.1145/1457199.1457203

Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory. A practical guide through qualitative analysis.* London: Sage.

Chen, R., Zhang, Z., Deng, K., Wang, D., Ke, H., Cai, L., Chang, C., & Pan, T. (2021). Blink-sensing glasses: A flexible iontronic sensing wearable for continuous blink monitoring. *IScience*, *24*(5), 102399. https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102399

Chin, M. S., & Kales, S. N. (2019). Is There an Optimal Autonomic State for Enhanced Flow and Executive Task Performance? *Frontiers in Psychology*, *10*, 1716. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01716

Chirico, A., Serino, S., Cipresso, P., Gaggioli, A., & Riva, G. (2015). When music "flows". State and trait in musical performance, composition and listening: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, *6*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00906

Chow, C. K. (1965). Statistical Independence and Threshold Functions. *IEEE Transactions on Electronic Computers*, *EC-14*(1), 66-68. https://doi.org/10.1109/PGEC.1965.264059

Churches, A. (01 de octubre de 2009). Taxonomía de Bloom para la Era Digital. Recuperado el 06 de abril de 2020, de Eduteka: http://eduteka.icesi.edu.co/articulos/TaxonomiaBloomDigital

Chute, E. (2009). STEM education is branching out: Focus shifts from making science, math accessible to more than just brightest. *Pittsburg Post-Gazette*, *10*. Disponible en http://www.post-gazette.com/pg/09041/947944-298.stm

Clarke, S. G., & Haworth, J. T. (1994). 'Flow' experience in the daily lives of sixth-form college students. *British Journal of Psychology*, *85*(4), 511–523. https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1994.tb02538.x

Clerici, C., & Molo, G. (2022). Reflexiones en torno al juego y al aprendizaje en tiempos de aislamiento: Algunas pistas desde la neurociencia para cuando volvamos al aula. *Integración+ Divulgación de trabajos científicos SeCyT UCU*, *1*(2), 1-7.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.Corbi, A., & Burgos, D. (2017). Open distribution of virtual containers as a key framework for open educational resources and STEAM subjects. *Electronic Journal of e-Learning*, 15(2), pp126-1

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, *16*(3), 297-334. https://doi.org/10.1007/BF02310555

Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications.

Cronin, P; Ryan, F. y Coughlan, M. (2008). Undertaking a literature: a step by step approach. British Journal of Nursing. 17,1, 38-43. https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059

Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety* (4th ed.). Jossey-Bass Publishers.

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow. The Psychology of Optimal Experience*. Harper-Collins Publishers.

Csikszentmibalyi, M. (1990). Literacy and Intrinsic Motivation. *Daedalus*, *119*(2), 115–140. https://doi.org/10.2307/20025303

Csikszentmihalyi, M. (1991). Flow: The psychology of optimal experience: Steps toward enhancing the quality of life. *Design Issues*, *8*(1), 314.

Csikszentmihalyi, M.. (1993). *The evolving self: a psychology for the third millennium*. HarperCollins Publishers.

Csikszentmihalyi, M. (1997). *Finding flow the psychology of engagement with everyday life*. Basic Books .

Csikszentmihalyi, M. (2007). *The Evolving Self*. Harper Collins.Csikszentmihalyi, M. (2009). *Flow: The psychology of optimal experi*Harper Row

Csikszentmihalyi, M. (2013). *Flow: The psychology of happiness*. Random House.

Csikszentmihalyi, M. (2014a). *Applications of Flow in Human Development and Education*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9094-9

Csikszentmihalyi, M. (2014b). Toward a Psychology of Optimal Experience. In *Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi* (pp. 1–298). https://doi.org/10.1007/978-94-017-9088-8

Csikszentmihalyi, M., & Csikszentmihalyi, I. (1988). *Optimal experience : psychological studies of flow in consciousness* (M Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi. I, Eds.). Cambridge University Press

Csikszentmihalyi, M. & Larson, R. (1984). *Being Adolescent: Conflict and Growth in the Teenage Years*. Basic Books. ISBN 0-465-00646-9

Csikszentmihalyi, M., & Larson, R. (1987). Validity and Reliability of the Experience-Sampling Method. *The Journal of Nervous and Mental Desease*, *175*(9), 526-536.

Csikszentmihalyi, M., Larson, R., & Prescott, S. (1977). The Ecology of Adolescent Activity and Experience. *Journal of Youth and Adolescence*, *6*(3). https://doi.org/10.1007/bf02138940

Csikszentmihalyi, M., & Lefevre, J. (1989). Optimal Experience in Work and Leisure. *Journal of Personality and Social Psychology*, *56*(5), 815–822. https://doi.org/10.1037/0022-3514.56.5.815

Csikszentmihalyi, M., & Rathunde, K. (1993). The measurement of flow in everyday life: Toward a theory of emergent motivation. In J. E. Jakobs (Ed.), *Nebraska Symposium on Motivation, 1992: Developmental perspectives on motivation* (pp. 57–97). University of Nebraska Press.

Csikszentmihalyi, M., Rathunde, K., & Whalen, S. (1993). *Talented teenagers: The roots of success and failure*. Cambridge University Press.Custodero, L. A. (2005). Observable indicators of flow experience: A developmental perspective on musical engagement in young children from infancy to school age. *Music Education Research*, *7*(2), 185-209.https://doi.org/10.1080/14613800500169431

Datta, A., Sen, S., & Zick, Y. (2016). Algorithmic Transparency via Quantitative Input Influence: Theory and Experiments with Learning Systems. *2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, 598-617. https://doi.org/10.1109/SP.2016.42

Daugherty, M. K. (2013). The Prospect of an" A" in STEM Education. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, *14*(2). Disponible en https://www.jstem.org/jstem/index.php/JSTEM/article/view/1744

de Manzano, Ö., Theorell, T., Harmat, L., & Ullén, F. (2010). The Psychophysiology of Flow During Piano Playing. *Emotion*, *10*(3), 301–311. https://doi.org/10.1037/a0018432

de Sampaio Barros, M. F., Araújo-Moreira, F. M., Trevelin, L. C., & Radel, R. (2018). Flow experience and the mobilization of attentional resources. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *18*(4), 810-823. https://doi.org/10.3758/s13415-018-0606-4

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2012). Self-determination theory. In P. A. M. Van Lange, A. W. Kruglanski, & E. T. Higgins (Eds.), *Handbook of theories of social psychology* (pp. 416–436). Sage Publications Ltd. https://doi.org/10.4135/9781446249215.n21

Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2000). *The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. Psychological Inquiry, 11(4), 227–268.* doi:10.1207/S15327965PLI1104_01

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2002). The paradox of achievement: The harder you push, the worse it gets. In J. Aronson (Ed.), Improving academic achievement: Impact of psychological factors on education (pp. 61–87). San Diego: Academic Press.

Delle Fave, A., & Bassi, M. (2016). Flow and psychological selection. In *Flow Experience: Empirical Research and Applications* (Harmat, L et al., pp. 3–19). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28634-1_1

Delle Fave, A., & Massimini, F. (2005). The Investigation of Optimal Experience and Apathy. *European Psychologist*, 10(4), 264–274. doi:10.1027/1016-9040.10.4.264

Delle Fave, A., Massimini, F., & Bassi, M. (2011a). The Phenomenology of Optimal Experience in Daily Life. In *Psychological Selection and Optimal Experience AcrossCultures, Cross-Cultural Advancements in Positive Psychology* (Vol. 2, pp. 89–110). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9876-4_5

Delle Fave, A., Massimini, F., & Bassi, M. (2011b). *Psychological Selection and Optimal Experience Across Cultures*. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9876-4

De Sampaio Barros, M. F., Araújo-Moreira, F. M., Trevelin, L. C., & Radel, R. (2018). Flow experience and the mobilization of attentional resources. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *18*(4), 810-823. https://doi.org/10.3758/s13415-018-0606-4

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011, September). From game design elements to gamefulness: defining" gamification". In *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments* (pp. 9-15). https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.1145/2181037

Díaz-Pinzón, J. E. (2021). Taxonomías para la evaluación. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 33(2), 248-253. https://doi.org/10.33975/riuq.vol33n2.464

Diener, E., Emmons, R. A., Larsen, R. J., & Griffin, S. (1985). The Satisfaction With Life Scale. *Journal of Personality Assessment*, *49*(1), 71-75. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13

Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2011). *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. SAGE Publications

Drachen, A., Nacke, L. E., Yannakakis, G., & Pedersen, A. L. (2010b). Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games. *Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games*, 49-54. https://doi.org/10.1145/1836135.1836143

Duda, J. L. (1997). Psychological Antecedents of the Frequency and Intensity of Flow in Golfers. *International Journal of Sport Psychology*, *28*, 309–332.

Duncan, J., & West, R. E. (2018). Conceptualizing group flow: a framework. *Educational Research and Reviews*, *13*(1), 1-11. https://eric.ed.gov/?id=EJ1166094

Eccles-Parsons, J. S., Adler, T. F., Futterman, R., Goff, S. B., Kaczala, C. M., Meece, J. L., & Midgley, C. (1983). Expectancies, values, and academic behaviors. In J. T. Spence (Ed.), Achievement and achievement motivation (pp. 75–146). San Francisco, CA: W. H. Freeman.

ECMA (2013). The JSON Data Interchange Format .

https://www.ecma-international.org/wp-content/uploads/ECMA-404_1st_edition_october_2013.pdf

Eisenberger, R., Jones, J. R., Stinglhamber, F., Shanock, L., & Randall, A. T. (2005). Flow experiences at work: For high need achievers alone? *Journal of Organizational Behavior*, *26*(7), 755–775. https://doi.org/10.1002/job.337

Elliott, J. (1990). La investigación-acción en educación. Madrid: Morata

Elliot, J. (4ª Ed.) (2005). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Morata. Madrid.

Ellis, P. D. (2010). *The Essential Guide to Effect Sizes: An Introduction to Statistical Power, Meta-Analysis and the Interpretation of Research Results*. United Kingdom: Cambridge University Press.

Ellis, G. D., Voelkl, J. E., & Morris, C. (1994). Measurement and Analysis Issues with Explanation of Variance in Daily Experience Using the Flow Model. *Journal of Leisure Research*, *26*(4), 337–356. https://doi.org/10.1080/00222216.1994.11969966

Emerson, H. (1998). Flow and Occupation: A review of the literature. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, *65*(1), 37–44.Engeser, S. (Ed.). (2012). *Advances in Flow Research*. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2359-1

Engeser, S., Moneta, G. B., Keller, J., Landhäußer, A., Schiepe-Tiska, A., Abuhamed, S., Schüler, J., & Peifer, C. (2012). *Advances in Flow Research* (S. Engreser, Ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2359-1

Engeser, S., & Rheinberg, F. (2008). Flow, performance and moderators of challenge-skill balance. *Motivation and Emotion*, *32*(3), 158-172. https://doi.org/10.1007/s11031-008-9102-4

Engeser, S., Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Bischoff, J. (2005). Motivation, Flow-Erleben und Lernleistung in universitären Lernsettings 1Dieser Beitrag wurde unter der geschäftsführenden Herausgeberschaft von Joachim C. Brunstein akzeptiert. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *19*(3), 159-172. https://doi.org/10.1024/1010-0652.19.3.159

Escudero, J. (1987). *La investigación-acción en el panorama actual de la investigación educativa: algunas tendencias*. Revista de Innovación e Investigación Educativa, 3, 5-39

Eşi, M. C. (2014). About the Idea of an Intuitive Didactics and the Role of Intuition in the Activity of Teaching and Learning Assessment. *International Journal of Social and Educational Innovation (IJSEIro)*, *1*(1), 87-92. https://journals.aseiacademic.org/index.php/ijsei/article/download/24/21

Ezugwu, A. E., Ikotun, A. M., Oyelade, O. O., Abualigah, L., Agushaka, J. O., Eke, C. I., & Akinyelu, A. A. (2022). A comprehensive survey of clustering algorithms: State-of-the-art machine learning applications, taxonomy, challenges, and future research prospects. *Engineering*

Applications of Artificial Intelligence, *110*, 104743. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104743

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175–191. https://doi.org/10.3758/BF03193146

Felder, R. M., y Silverman, L. K. (1988). Estilos de aprendizaje y de enseñanza en la educación de ingeniería [Versión electrónica]. Ing. Educación, 78 (7), 674-681 Disponible en : http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf. [Consulta: 2014, Diciembre 01].

Fernández, J. M. B. (2021). De las emociones naturales a la emocionalidad artificial. *Cuadernos salmantinos de filosofía*, *48*, 105-131. https://doi.org/10.36576/summa.144495

Fernández, A. Y. M., & Roldán, E. M. P. (2012). El diario pedagógico como herramienta para la investigación. Itinerario educativo, 26(60), 117-128.

Fernández, P., Vallejo, G., Livacic-Rojas, P., & Tuero, E. (2014). Validez Estructurada para una investigación cuasi-experimental de calidad. Se cumplen 50 años de la presentación en sociedad de los diseños cuasi-experimentales. *Anales de Psicología*, 30(2), 756-771. https://doi.org/10.6018/analesps.30.2.166911

Ferrari, R. (2015). Writing narrative style literature reviews. *Medical Writing*, *24*(4), 230-235. https://doi.org/10.1179/2047480615Z.000000000329

Feng, L. (2015). DFRobot Heart Rate Analog Mode for Arduino 1.8.14 con licencia GNU-LGPLv3. Disponible en Musk.lin@dfrobot.com (26/02/2021)

Finneran, C. & Zhang, P. (2003) A person–artefact–task (PAT) model of flow antecedents in computer-mediated environments. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(4), 475–496. doi:10.1016/S1071-5819(03)00112-5

Fielding, R. T., & Taylor, R. J. K. (2002). Principled design of the modern Web architecture. *ACM Transactions on Internet Technology*, 2(2), 115–150. https://doi.org/10.1145/514183.514185

Flores, M. (2004). *Implicaciones de los paradigmas de investigación en la práctica educativa.* Revista Digital Universitaria, 5 (1), 2-9.

Ford, J. L., Vosloo, J., & Arvinen-Barrow, M. (2020). "Pouring everything that you are": Musicians' experiences of optimal performances. *British Journal of Music Education*, *37*(2), 141–153. https://doi.org/10.1017/S0265051720000078

Gaggioli, A., Cipresso, P., Serino, S., Riva, G. (2013) Psychophysiological correlates of flow during daily activities. In: Wiederhold, B.K. and Riva, G. (eds.) Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine. 65–69. IOS Press. doi: 10.3233/978-1-61499-282-0-65

García, I.; Romero, S. y Escalante, L. (2011). Diseño y validación de la guía de evaluación de las prácticas inclusivas el aula (GEPIA). XI Congreso Nacional de Investigación Educativa, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Disponible enhttp://lab.iiiepe.net/congresonacional/docs/area_14/1390.pdf

Ghani, J. A., & Deshpande, S. P. (1994). Task characteristics and the experience of optimal flow in human—computer interaction. *Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, *128*(4), 381–391. https://doi.org/10.1080/00223980.1994.9712742

Ghani, J. A., Supnick, R., & Rooney, P. (1991). The experience of Flow in Computer-Mediated and in Face-to-face Groups. *ICIS Proceedings*, 229–237. https://doi.org/http://aisel.aisnet.org/icis1991/9

Gilgen-Ammann, R., Schweizer, T., & Wyss, T. R. (2019). RR interval signal quality of a heart rate monitor and an ECG Holter at rest and during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 119(7), 1525–1532. https://doi.org/10.1007/s00421-019-04142-5

Goddard, S. G., Stevens, C. J., Jackman, P. C., & Swann, C. (2021). A systematic review of flow interventions in sport and exercise. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1-36. https://doi.org/10.1080/1750984X.2021.1923055

Goedhart, J., & Rishniw, M. (2021). BA-plotteR–A web tool for generating Bland-Altman plots and constructing limits of agreement. *Research in Veterinary Science*, *137*, 281-286. doi:10.1016/j.rvsc.2021.05.017

Goldberg, L. R. (1992). The development of markers for the Big-Five factor structure. *Psychological Assessment, 4*(1), 26–42. https://doi.org/10.1037/1040-3590.4.1.26

Goldberg, I., Harel, M. & Malach, R. (2006). *When the Brain Loses Its Self: Prefrontal Inactivation during Sensorimotor Processing. Neuron , 50(2), 0–339.* doi:10.1016/j.neuron.2006.03.015

Glaser B. & Strauss A. (1967). *The discovery of Grounded theory: Strategies for qualitative research*. New York: Aldine Publishing.

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, *26*(2), 91-108. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (2005). *Paradigmatic Controversies, Contradictions, and Emerging Confluences*. En N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), The SAGE Handbook of Qualitative Research (3rd ed., pp. 191-215). SAGE Publications.

Guo, Y.M. & Poole, M.S. (2009). Antecedents of flow in online shopping: a test of alternative models. *Information Systems Journal*,19, 369–390. doi:10.1111/j.1365-2575.2007.00292.x

Hamilton, J. A., Haier, R. J., & Buchsbaum, M. S. (1984). Intrinsic enjoyment and boredom coping scales: Validation with personality, evoked potential and attention measures. *Personality and Individual Differences, 5(2), 183–193.* doi:10.1016/0191-8869(84)90050-3

Hancock, P. A. (1986). Sustained attention under thermal stress. *Psychological Bulletin*, *99*(2), 263-281. https://doi.org/10.1037/0033-2909.99.2.263

Hardt, M., Price, E., Price, E., & Srebro, N. (2016). Equality of Opportunity in Supervised Learning. En D. Lee, M. Sugiyama, U. Luxburg, I. Guyon, & R. Garnett (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 29). Curran Associates, Inc. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2016/file/9d2682367c3935defcb1f9e247a97c0d-Paper.pdf

Harmat, L., de Manzano, Ö., Theorell, T., Högman, L., Fischer, H., & Ullén, F. (2015). Physiological correlates of the flow experience during computer game playing. *International Journal of Psychophysiology*, *97*(1), 1-7. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.05.001

Harnad, S. (1992). The Turing Test is not a trick: Turing indistinguishability is a scientific criterion. *ACM SIGART Bulletin*, *3*(4), 9-10. https://doi.org/10.1145/141420.141422

Harris, D. J., Allen, K. L., Vine, S. J., & Wilson, M. R. (2021). A systematic review and meta-analysis of the relationship between flow states and performance. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1-29. https://doi.org/10.1080/1750984X.2021.1929402

Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., … Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357-362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2

Harris, D. J., Vine, S. J., & Wilson, M. R. (2017). Is flow really effortless? The complex role of effortful attention. *Sport, Exercise, and Performance Psychology*, *6*, 103-114. https://doi.org/10.1037/spy0000083

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Hartigan, J. A., & Wong, M. A. (1979). A K-Means Clustering Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, *28*(1), 100-108. https://doi.org/10.2307/2346830

Havard, B., & Podsiad, M. (2020). A meta-analysis of wearables research in educational settings published 2016–2019. *Educational Technology Research and Development*, *68*(4), 1829-1854. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09789-y

Hawley, S. H. (2019). *Challenges for an Ontology of Artificial Intelligence* (arXiv:1903.03171). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.03171

Hektner, J. M., & Csikszentmihalyi, M. (1996). A Longitudinal Exploration of Flow and Intrinsic Motivation in Adolescents. *Annual Meeting of TheAmerican Educational Research Association*, 2–30.

Hektner, J. M., Schmidt, J., & Csikszentmihalyi, M. (2007). *Experience sampling method. Measuring the quality of everyday life*. Sage.

Henriksen, D., Mehta, R., & Mehta, S. (2019). Design Thinking Gives STEAM to Teaching: A Framework That Breaks Disciplinary Boundaries. En M. S. Khine & S. Areepattamannil (Eds.), *STEAM Education* (pp. 57-78). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04003-1_4

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2016). Metodología de la investigación. 6ta Edición Sampieri. *Soriano, RR (1991). Guía para realizar investigaciones sociales. Plaza y Valdés*.

Hernández, A.M. (2012). Aprendizaje interactivo de personas sordas y oyentes de la Lengua de Signos Española: metodologías emergentes que apuestan por la Cultura Inclusiva. Actas del IX Congreso Internacional y XXIX Jornadas de Universidades y Educación Especial. Cádiz: Departamento de Didáctica de la Universidad de Cádiz. Disponible en:

http://cfiesegovia.centros.educa.jcyl.es/sitio/upload/ACTASCEE2012UCA.pdf

Hernández-de-Menéndez, M., Morales-Menendez, R., Escobar, C. A., & Ramírez Mendoza, R. A. (2022). Learning analytics: State of the art. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 16(3), 1209-1230. https://doi.org/10.1007/s12008-022-00930-0

Hernández-Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.

Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Herrington, J., Reeves, T. C., Oliver, R., & Woo, Y. (2004). Designing authentic activities in web-based courses. *Journal of Computing in Higher Education*, *16*(1), 3-29. https://doi.org/10.1007/BF02960280

Heutte, J. (2011). *La part du collectif dans la motivation et son impact sur le bien-être comme médiateur de la réussite des étudiants: Complémentarités et contributions entre l'autodétermination, l'auto-efficacité et l'autotélisme* (Doctoral dissertation, Université Paris-Nanterre).

Heutte, J. (2015, November 27). Proposal for a "pedagogical toolkit" for monitoring the optimal learning environment (with the conceptual evolution of the flow in education (EduFlow2) model) Première revue scientifique francophone sur le bonheur View project eEduc-Eval Bordeaux View project. *4th European Flow-Researchers' Network Meeting*. https://www.researchgate.net/publication/289672178

Heutte, J., & Boniwell, I. (2014). Optimal learning experience in digital environments: Theoretical concepts, measure and modelisation. *Digital Learning in 21st Century Universities*, *October*.

Heutte, J., Fenouillet, F., Kaplan, J., Martin-Krumm, C., & Bachelet, R. (2016). The EduFlow Model: A Contribution Toward the Study of Optimal Learning Environments. En L. Harmat, F.

Ørsted Andersen, F. Ullén, J. Wright, & G. Sadlo (Eds.), *Flow Experience* (pp. 127-143). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28634-1_9

Heutte, J., Fenouillet, F., Martin-Krumm, C., Gute, G., Raes, A., Gute, D., Bachelet, R., & Csikszentmihalyi, M. (2021). Optimal Experience in Adult Learning: Conception and Validation of the Flow in Education Scale (EduFlow-2). *Frontiers in Psychology*, *12*, 828027. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.828027

Hoffman, D. L. & Novak, T. (1996). Marketing in Hypermedia Computer-Mediated Environments: Conceptual Foundations. *Journal of Marketing*, 60 (July), 50-68.

Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., O'Cathain, A., Rousseau, M.-C., Vedel, I., & Pluye, P. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for Information*, *34*(4), 285-291. https://doi.org/10.3233/EFI-180221

Honggang, L., & Xueyan, S. (2021). *Cuestionario Flow basado en el modelo de Shin(2006) de Liu y Song Appendix 3 Interview Protocol*.

Houshyarifar, V., & Amirani, M. C. (2017). Early detection of sudden cardiac death using Poincaré plots and recurrence plot-based features from HRV signals. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, *25*(2), 1541-1553. https://doi.org/10.3906/elk-1509-149

Hu, D., Henry, C., & Bagchi, S. (2020, June). The Effect of Motion on PPG Heart Rate Sensors. *In 2020 50th Annual IEEE-IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks-Supplemental Volume (DSN-S)* (pp. 59-60). IEEE. https://doi.org/10.1109/dsn-s50200.2020.00032

Hunter, J. D. (2017) Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. doi:10.1109/mcse.2007.55

IBM corp. SPSS V.25 documentation. Disponible en: https://www.ibm.com/mysupport/s/topic/0TO500000001yjtGAA/spss-statistics?language=en_US [Consultado: 11/05/2022]

ICP (2023). mBlock 5, a powerful platform for coding designed for STEM education. https://www.makeblock.com/software/mblock5 [10/3/2023]

IETF (2014). The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. https://tools.ietf.org/html/rfc7159

Inozemtsev, V., Ivleva, M., & Ivlev, V. (2017). *Artificial Intelligence and the Problem of Computer Representation of Knowledge*. 1151-1157. https://doi.org/10.2991/iccessh-17.2017.268

Ioannidis, J. P., Boyack, K. W., Small, H., Sorensen, A. A., & Klavans, R. (2014). Bibliometrics: Is your most cited work your best?. *Nature*, *514*(7524), 561–562. https://doi.org/10.1038/514561a

Jackman, P. C., Dargue, E. J., Johnston, J. P., & Hawkins, R. M. (2021). Flow in youth sport, physical activity, and physical education: A systematic review. *Psychology of Sport and Exercise*, *53*, 101852. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2020.101852

Jackson, S. A. (1992). Athletes in flow: A qualitative investigation of flow states in elite figure skaters. *Journal of Applied Sport Psychology*, *4*(2), 161–180. https://doi.org/10.1080/10413209208406459

Jackson S. (2014) Flow Scales. In: Michalos A.C. (eds) Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0753-5_1065

Jackson, S. A., & Csikszentmihalyi, M. (1999). Flow in sports: The keys to optimal experiences and performances. Champaign, IL: Human Kinetics.

Jackson, S. A., & Eklund, R. C. (2002). Assessing Flow in Physical Activity: The Flow State Scale–2 and Dispositional Flow Scale–2. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *24*(2), 133–150. https://doi.org/10.1123/jsep.24.2.133

Jackson, S. A., & Eklund, R. C. (2004a). Relationships between quality of experience and participation in diverse performance settings. Australian Journal of Psychology, 56(Suppl), 193.

Jackson, S. A., & Eklund, R. C. (2004b). The flow scale manual. Morgantown, WV: Fitness Information Technology.

Jackson, S. A., Eklund, R. C., & Martin, A. J. (2010).The flow manual. Mind Garden Inc.www.mindgarden.com.

Jackson, S. A., Ford, S. K., Kimiecik, J. C., & Marsh, H. (1998). Psychological Correlates of Flow in Sport. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *20*(4), 358–378. https://doi.org/0.1123/jsep.20.4.358

Jackson, S. A., & Marsh, H. W. (1996). Development and validation of a scale to measure optimal experience: The flow state scale. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *18*(1), 17–35. https://doi.org/10.1123/jsep.18.1.17

Jackson, S. A., Martin, A. J., & Eklund, R. C. (2008). Long and Short Measures of Flow: The Construct Validity of the FSS-2, DFS-2, and New Brief Counterparts. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *30*, 561–587. https://doi.org/10.1123/jsep.30.5.561

Jackson, J. A., Petersen, S. A., & Wailoo, M. P. (1994). Body temperature changes before minor illness in infants. *Archives of Disease in Childhood*, *71*(1), 80-83. https://doi.org/10.1136/adc.71.1.80

Jackson, S. A.; Roberts, G. C. (1992). *Positive Performance States of Athletes: Toward a Conceptual Understanding of Peak Performance. The Sport Psychologist, 6(2), 156–171.* doi:10.1123/tsp.6.2.156

Jackson, S. A., Thomas, P. R., Marsh, H. W., & Smethurst, C. J. (2001). Relationships between Flow, Self-Concept, Psychological Skills, and Performance. *Journal of Applied Sport Psychology*, *13*(2), 129–153. https://doi.org/10.1080/104132001753149865

Jho, H., Hong, O., & Song, J. (2016). An Analysis of STEM/STEAM Teacher Education in Korea with a Case Study of Two Schools from a Community of Practice Perspective. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *12*(7). https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1538a

Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. *Nature Machine Intelligence*, *1*(9), Article 9. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2

John, O. P., Donahue, E. M., & Kentle, R. L. (1991). The big five inventory—versions 4a and 54. University of California, Berkeley. https://www.ocf.berkeley.edu/~johnlab/bfi.htm

John Dian, F., Vahidnia, R., & Rahmati, A. (2020). Wearables and the Internet of Things (IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey. *IEEE Access*, *8*, 69200-69211. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2986329

Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time has come. *Educational researcher*, 33(7), 14-26. https://doi.org/10.3102/0013189X0330070

Jones, C. D., Hollenhorst, S. J., & Perna, F. (2003). An empirical comparison of the four channel flow model and adventure experience paradigm. *Leisure Sciences*, *25*(1), 17–31. https://doi.org/10.1080/01490400306551

Kamal, A. A. R., Harness, J. B., Irving, G., & Mearns, A. J. (1989). Skin photoplethysmography—A review. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 28(4), 257-269. https://doi.org/10.1016/0169-2607(89)90159

Kantelhardt, J. W., Zschiegner, S. A., Koscielny-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A., & Stanley, H. E. (2002). Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A*, 316(1-4), 87-114. doi:10.1016/S0378-4371(02)01383-3. S2CID 18417413.

Keane, L., & Keane, M. (2016). STEAM by Design. *Design and Technology Education*, *21*(1), 61-82. Disponible en https://eric.ed.gov/?id=EJ1119572

Keller, J., & Bless, H. (2008). Flow and regulatory compatibility: An experimental approach to the flow model of intrinsic motivation. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *34*(2), 196–209. https://doi.org/10.1177/0146167207310026

Keller, J., Bless, H., Blomann, F., & Kleinböhl, D. (2011). Physiological aspects of flow experiences: Skills-demand-compatibility effects on heart rate variability and salivary cortisol. *Journal of Experimental Social Psychology*, *47*(4), 849–852. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2011.02.004

Kiili, K. (2006). Evaluations of an Experiential Gaming Model. *Human Technology: An Interdisciplinary Journal on Humans in ICT Environments*, *2*(2), 187-201. https://doi.org/10.17011/ht/urn.2006518

Kiili, K., de Freitas, S., Arnab, S., & Lainema, T. (2012). The design principles for flow experience in educational games. *Procedia Computer Science*, *15*, 78–91. https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.060

Kiili, K., & Lainema, T. (2008). Foundation for measuring engagement in educational games. *Journal of interactive learning research*, *19*(3), 469-488. https://eric.ed.gov/?id=EJ799786

Kimiecik, J. C. & Stein, G. L. (1992). *Examining flow experiences in sport contexts: Conceptual issues and methodological concerns. Journal of Applied Sport Psychology, 4(2), 144–160.* doi:10.1080/10413209208406458

Kivikangas, J. M. (2006). Psychophysiology of flow experience: An explorative study. TFM. Universidad de Helsiki. http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20061271

Kolmogorov, A. N., & Uspenskii, V. A. (1958). On the definition of an algorithm. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*, *13*(4), 3-28.

Kotler, S., Mannino, M., Kelso, S., & Huskey, R. (2022). First few seconds for flow: A comprehensive proposal of the neurobiology and neurodynamics of state onset. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *143*, 104956. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104956

Koutromanos, G., & Kazakou, G. (2020). The use of smart wearables in primary and secondary education: A systematic review. *Themes in eLearning*, *13*, 33-53.

Kluyver, T., Ragan-Kelley, B., Pérez, F., Granger, B. E., Bussonnier, M., Frederic, J., . . . and Ivanov, P. (2022). Jupyter Notebooks: A publishing format for reproducible computational workflows. *IOS*, pp. 87–90. doi:10.3233/978-1-61499-649-1-87

Knierim, M. T., Rissler, R., Dorner, V., Maedche, A., & Weinhardt, C. (2018). The Psychophysiology of Flow: A Systematic Review of Peripheral Nervous System Features. En F. D. Davis, R. Riedl, J. vom Brocke, P.-M. Léger, & A. B. Randolph (Eds.), *Information Systems and Neuroscience* (Vol. 25, pp. 109-120). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67431-5_13

Kolmogorov, A. N. (1933). Sulla determinazione empirica di una legge didistribuzione. *Giorn Dell'inst Ital Degli Att*, *4*, 89-91.

Konradt, U., Filip, R., & Hoffmann, S. (2003). Flow experience and positive affect during hypermedia learning. *British Journal of Educational Technology*, *34*(3). https://doi.org/doi:10.1111/1467-8535.00329

Kotlin Foundation (2022). Promote and advance the development of the Kotlin programming language. Disponible en: https://kotlinfoundation.org/

Kowal, J., & Portier, M. S. (1999). Motivational Determinants of Flow: Contributions From Self-Determination Theory. *Journal of'Social Psvcholom*, *139*(3), 355–368.

Kuhn, T. (1975). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.

Ladd, G. W., Herald-Brown, S. L., & Kochel, K. P. (2009). Peers and motivation. En *Handbook of motivation at school* (pp. 323-348). Routledge/Taylor & Francis Group

Lane, A. M. (2007). Developing and validating psychometric tests for use in high performance settings. In: Boyar LS (ed), *New psychological tests and testing research* (pp. 203–213). New York. Nova Science Publishers.

Lazowski, R. A., & Hulleman, C. S. (2016). Motivation Interventions in Education: A Meta-Analytic Review. *Review of Educational Research*, *86*(2), 602-640. https://doi.org/10.3102/0034654315617832

Léger, P.-M., Davis, F. D., Cronan, T. P., & Perret, J. (2014). Neurophysiological correlates of cognitive absorption in an enactive training context. *Computers in Human Behavior*, *34*, 273-283. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.02.011

Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. in I. Olkin, ed., Contributions to probability and statistics, 278-292. Palo Alto, Calif. : Stanford University Press.

Leyva, Y. D. P., & Torres, E. A. O. (2019). Estudio exploratorio sobre el uso de la sugestión en la comunicación profesor-alumno en el aula universitaria. *Opuntia Brava*, *11*(4). https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/856

Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, *62*(318), 399-402. https://doi.org/10.1080/01621459.1967.10482916

Lincoln, Y., & Guba, E. (1994). Paradigmas en pugna en la investigación cualitativa. *Handbook of Qualitative Research*, 105-117.

Liu, H., & Song, X. (2021). Exploring "Flow" in young Chinese EFL learners' online English learning activities. *System*, 96(5268), 102425. https://doi.org/10.1016/j.system.2020.102425

López-Nava, I. H., & Muñoz-Meléndez, A. (2016). Wearable Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Review. *IEEE Sensors Journal*, *16*(22), 7821-7834. https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2609392

Løvoll, H. S., & Vittersø, J. (2014). Can balance be boring? A critique of the "challenges should match skills" hypotheses in flow theory. *Social indicators research*, *115*(1), 117-136. https://doi.org/10.1007/s11205-012-0211-9

MacQueen, J. (1967, June). Classification and analysis of multivariate observations. In *5th Berkeley Symp. Math. Statist. Probability* (pp. 281-297). Los Angeles LA USA: University of California.

Maeda, J. (2013). STEM + Art = STEAM. *STEAM*, *1*(1), 1-3. https://doi.org/10.5642/steam.201301.34

Mahesh, B. (2020). Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, *9*, 381-386. doi: 10.21275/ART20203995

Marazziti, D., Di Muro, A., & Castrogiovanni, P. (1992). Psychological stress and body temperature changes in humans. *Physiology & Behavior*, *52*(2), 393-395. https://doi.org/10.1016/0031-9384(92)90290-I

Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, *10*(4), 1-15. https://doi.org/10.1145/1868358.1868363

Marín-Gallego, J. D. (2007). Del concepto de paradigma en Thomas S. Kuhn, a los paradigmas de las ciencias de la cultura. *Magistro*, 1(1), 73-88. https://doi.org/10.15332/s2011-8643.2007.0001.06

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50–60. https://www.jstor.org/stable/2236101

Mannell, R. C. (1979). A conceptual and experimental basis for research in the psychology of leisure. Society and Leisure, 2, 179-196.

Manterola, C., & Otzen, T. (2015). Estudios Experimentales 2 Parte: Estudios Cuasi-Experimentales. *International Journal of Morphology*, 33(1), 382-387. https://doi.org/10.4067/S0717-95022015000100060

Martin, A. J., & Jackson, S. A. (2008). Brief approaches to assessing task absorption and enhanced subjective experience: Examining 'short' and 'core' flow in diverse performance domains. *Motivation and Emotion*, *32*(3), 141-157. https://doi.org/10.1007/s11031-008-9094-0

Masters, J. (1995). The History of Action Research. En I. Hughes (ed) A*ction Research Electronic Reader*, The University of Sydney. http://www.behs.cchs.usyd.edu.au/arow/Reader/rmasters.htm

Massey, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, *46*(253), 68-78. https://doi.org/10.1080/01621459.1951.10500769

Massimini, F., & Carli, M. (1986). La selezione psicologica umana tra biologia e cultura. In F. Massimini & P. Inghilleri (Eds.), L'esperienza quotidiana (pp. 65-84). Milan: Franco Angeli.

Massimini, F., & Carli, M. (1988). The systematic assessment of flow in daily experience. In M. Csikszentmihalyi & I. S. Csikszentmihalyi (Eds.), *Optimal experience: Psychological studies of flow in consciousness* (pp. 266–287). Cambridge University Press.

Massimini, F., Csikszentmihalyi, M., & Carli, M. (1987). The Monitoring of Optimal Experience. A tool for Psychiatric Rehabilitation. *Journal of Nervous and Mental Disease*, *175*(9), 545–549.

Maulud, D., & Abdulazeez, A. M. (2020). A Review on Linear Regression Comprehensive in Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, *1*(4), Article 4. https://doi.org/10.38094/jastt1457

McCarthy, J. (1981). Epistemological problems of artificial intelligence. En B. L. Webber & N. J. Nilsson (Eds.), *Readings in Artificial Intelligence* (pp. 459-465). Morgan Kaufmann. https://doi.org/10.1016/B978-0-934613-03-3.50035-0

McCorduck, P. (2004). *Machines who think: A personal inquiry into the history and prospects of artificial intelligence*. London: CRC Press

McKinney, W. (2011). *Data structures for statistical computing in Python*. Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 445, pp. 51–56. doi:10.25080/majora-92bf1922-00a

Melnikoff, D. E., Carlson, R. W., & Stillman, P. E. (2022). A computational theory of the subjective experience of flow. *Nature Communications*, 13(1), 2252. https://doi.org/10.1038/s41467-022-29742-2

Michailidis, L., Lucas Barcias, J., Charles, F., He, X., & Balaguer-Ballester, E. (2019). Combining Personality and Physiology to Investigate the Flow Experience in Virtual Reality Games. *Communications in Computer and Information Science*, *1033*, 45–52. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23528-4_7

Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning* (Vol. 1). New York: McGraw-hill. ISBN: 00704077

Mitchell, J. R., & Wang, J.-J. (2014). Expanding application of the Wiggers diagram to teach cardiovascular physiology. *Advances in Physiology Education*, *38*(2), 170-175. https://doi.org/10.1152/advan.00123.2013

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, T. P. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, *6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Molnar, C. (2019). Interpretable machine learning. A Guide for Making Black Box Models Explainable. https://christophm.github.io/interpretable-ml-book/.

Moneta, G. B. (2012). Opportunity for creativity in the job as a moderator of the relation between trait intrinsic motivation and flow in work. *Motivation and Emotion*, *36*(4), 491-503. https://doi.org/10.1007/s11031-012-9278-5

Moneta, G. B. (2021). On the Conceptualization and Measurement of Flow. En C. Peifer & S. Engeser (Eds.), *Advances in Flow Research* (pp. 31-69). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53468-4_2

Moneta, G. B. & Csikszentmihalyi, M. (1996). *The Effect of Perceived Challenges and Skills on the Quality of Subjective Experience. 64(2), 275–310.* doi:10.1111/j.1467-6494.1996.tb00512.x

Moneta, G. B., & Csikszentmihalyi, M. (1999). Models of concentration in natural environments: A comparative approach based on streams of experiential data. Social Behavior and Personality, 27, 603–637. doi:10.2224/sbp.1999.27.6.603

Montessori, M. (2013). *The Montessori method*. Transaction publishers.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons

Mora Vargas, A. I. (2011). La evaluación educativa: Concepto, períodos y modelos. *Actualidades Investigativas en Educación*, *4*(2). https://doi.org/10.15517/aie.v4i2.9084

Moral-Bofill, L., López de la Llave, A., Pérez-Llantada, M.C., & Holgado-Tello, F.P. (2020). Adaptation to Spanish and psychometric study of the Flow State Scale-2 in the field of musical performers. PLOS ONE 15(5): e0233006. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233006

Morales Vallejo, P. (2008). *Estadística aplicada a las ciencias sociales*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas)

Moreno, M., Schnabel, R., Lancia, G., & Woodruff, E. (2020). Between text and platforms: A case study on the real-time emotions & psychophysiological indicators of video gaming and academic engagement. *Education and Information Technologies*, *25*(3), 2073-2099. https://doi.org/10.1007/s10639-019-10031-3

Moreno, M., Schnabel, R., Lancia, G., & Woodruff, E. (2020). Between text and platforms: A case study on the real-time emotions & psychophysiological indicators of video gaming and academic engagement. *Education and Information Technologies*, *25*(3), 2073-2099. https://doi.org/10.1007/s10639-019-10031-3

Mosing, M., Magnusson, P., Pedersen, N., Nakamura, J., Madison, G., & Ullén, F. (2012). Heritability of proneness for psychological flow experiences. *Personality and Individual Differences, 53(5), 699–704.* doi:10.1016/j.paid.2012.05.035

Murch, W. S., Chu, S. W. M., & Clark, L. (2017). Measuring the slot machine zone with attentional dual tasks and respiratory sinus arrhythmia. *Psychology of Addictive Behaviors*, *31*(3), 375-384. https://doi.org/10.1037/adb0000251

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

Murdoch, W. J., Singh, C., Kumbier, K., Abbasi-Asl, R., & Yu, B. (2019). Definitions, methods, and applications in interpretable machine learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(44), 22071-22080. https://doi.org/10.1073/pnas.1900654116

Murphy, K. P. (2012). *Machine learning: a probabilistic perspective*. MIT press.

Niskanen, J., Tarvainen, M. P., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. P. (2004). Software for advanced HRV analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 76(1), 73–81. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2004.03.004

Nacke, L., & Lindley, C. A. (2008). Flow and immersion in first-person shooters: Measuring the player's gameplay experience. *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share*, 81-88. https://doi.org/10.1145/1496984.1496998

Naranjo, J., De la Cruz, B., Sarabia, E., De Hoyo, M., & Domínguez-Cobo, S. (2015). Heart rate variability: a follow-up in elite soccer players throughout the season. *International journal of sports medicine*, *94*(11), 881-886. doi:10.1055/s-0035-1550047

Navarro, R. E. (2003). Factores asociados al rendimiento académico. *Revista Iberoamericana de Educación*, 33(1), 1-20. https://doi.org/10.35362/rie3312872

Neuman, W. L. (2016). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches* (8ª ed.). Pearson.

Niskanen, J., Tarvainen, M. P., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. P. (2004). Software for advanced HRV analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 76(1), 73–81. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2004.03.004

Novak, J. D. (2010). *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations* (2.ª ed.) [Libro electrónico]. Routledge.

Novak, J. D. (2010). *Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations* (2.ª ed.) [Libro electrónico]. Routledge.

Novak, T. P., Hoffman, D. L., & Yung, Y.-F. (2000). Measuring the Customer Experience in Online Environments: A Structural Modeling Approach. *Marketing Science*, *19*(1), 22-42. https://doi.org/10.1287/mksc.19.1.22.15184

OCDE (2021). Panorama de la educación. Indicadores de la OCDE 2021. Informe español. Ministerio de Educación. ISBN 978-84-369-6028-0. Disponible en https://www.observatoriodelainfancia.es/ficherosoia/documentos/7684_d_Panorama-Educacion-2021.pdf

Oikarinen, J. et al. (2016). Polar SDK. Disponible enhttps://github.com/polarofficial/polar-ble-sd

Oikarinen, J. et al. (2016). Polar SDK. Disponible en.

https://github.com/polarofficial/polar-ble-sdk

Oliveira, W., Pastushenko, O., Rodrigues, L., Toda, A. M., Palomino, P. T., Hamari, J., & Isotani, S. (2021). *Does gamification affect flow experience? A systematic literature review*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2106.09942

Ongsulee, P. (2017). Artificial intelligence, machine learning and deep learning. *2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*, 1-6. https://doi.org/10.1109/ICTKE.2017.8259629

Ortín, N. U., Villanueva, F. U., & López, F. A. (2008). El diario del maestro como instrumento de evaluación formativa, cualitativa e integrada en la Educación primaria. Habilidad Motriz: revista de ciencias de la actividad física y del deporte, (31), 43-53.

Ostertagová, E. (2012). Modelling using Polynomial Regression. *Procedia Engineering*, *48*, 500-506. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.545

O'Sullivan, S., Nevejans, N., Allen, C., Blyth, A., Leonard, S., Pagallo, U., Holzinger, K., Holzinger, A., Sajid, M. I., & Ashrafian, H. (2019). Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence (AI) and autonomous robotic surgery.

Mejora del Rendimiento Educativo mediante medición de Expectativa de Flow Grupal con Dispositivos Portátiles

The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, *15*(1), e1968. https://doi.org/10.1002/rcs.1968

Ottiger, B., Van Wegen, E., Keller, K., Nef, T., Nyffeler, T., Kwakkel, G., & Vanbellingen, T. (2021). Getting into a "Flow" state: A systematic review of flow experience in neurological diseases. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *18*(1), 65. https://doi.org/10.1186/s12984-021-00864-w

Ottiger, B., Van Wegen, E., Keller, K., Nef, T., Nyffeler, T., Kwakkel, G., & Vanbellingen, T. (2021). Getting into a "Flow" state: A systematic review of flow experience in neurological diseases. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *18*(1), 65. https://doi.org/10.1186/s12984-021-00864-w

Ou, W.-L., Kuo, T.-L., Chang, C.-C., & Fan, C.-P. (2021). Deep-Learning-Based Pupil Center Detection and Tracking Technology for Visible-Light Wearable Gaze Tracking Devices. *Applied Sciences*, *11*(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/app11020851

Palmér, M (2021). Pynput 1.7.3 con licencia GNU-LGPLv3. Disponible en https://pypi.org/project/pynput/ (26/02/2021)

Park, Y. S., Konge, L., & Artino, A. R. (2020). *The positivism paradigm of research*. Academic Medicine, 95(5), 690-694. https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000003093

Pasadyn, S. R., Soudan, M., Gillinov, M., Houghtaling, P. L., Phelan, D., Gillinov, N., Bittel, B., & Desai, M. Y. (2019). Accuracy of commercially available heart rate monitors in athletes: a prospective study. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 9(4), 379–385. https://doi.org/10.21037/cdt.2019.06.05

Pearce, J. M., Ainley, M., & Howard, S. (2005). The ebb and flow of online learning. *Computers in Human Behavior*, *21*(5), 745-771. https://doi.org/10.1016/j.chb.2004.02.019

Pearson, K. (1920). Notes on the history of correlation. *Biometrika*, *13*(1), 25-45. https://doi.org/10.1093/biomet/13.1.25

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., . . . and Vanderplas, J. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, pp.2825–2830.

Peifer, C., Schächinger, H., Engeser, S., & Antoni, C. H. (2015). Cortisol effects on flow-experience. *Psychopharmacology*, *232*(6), 1165-1173. https://doi.org/10.1007/s00213-014-3753-5

Peifer, C., Schulz, A., Schächinger, H., Baumann, N., & Antoni, C. H. (2014). The relation of flow-experience and physiological arousal under stress—Can u shape it? *Journal of Experimental Social Psychology*, *53*, 62-69. https://doi.org/10.1016/j.jesp.2014.01.009

Peifer, C., Wolters, G., Harmat, L., Heutte, J., Tan, J., Freire, T., Tavares, D., Fonte, C., Andersen, F. O., van den Hout, J., Šimleša, M., Pola, L., Ceja, L., & Triberti, S. (2022). A Scoping Review of Flow Research. *Frontiers in Psychology*, *13*, 815665. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.815665

Pekrun, R. (2020). Self-Report is Indispensable to Assess Students' Learning. *Frontline Learning Research*, *8*(3), 185-193. https://doi.org/10.14786/flr.v8i3.637

Pels, F., Kleinert, J., & Mennigen, F. (2018). Group flow: A scoping review of definitions, theoretical approaches, measures and findings. *PLOS ONE*, *13*(12), e0210117. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210117

Peng, C. K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1995). Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos*, 5(1), 82-87. doi:10.1063/1.166141.

Peña Matos, M., & Dibut Toledo, L. S. (2021). Algunas consideraciones sobre el desarrollo de la plataforma moodle. Conrado, 17(83), 64-69.

Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002

Perttula, A., Kiili, K., Lindstedt, A., & Tuomi, P. (2017). Flow experience in game based learning – a systematic literature review. *International Journal of Serious Games*, *4*(1). https://doi.org/10.17083/ijsg.v4i1.151

Pezoa, F., Reutter, J. L., Suarez, F., Ugarte, M., & Vrgoč, D. (2016). Foundations of JSON Schema. *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web*, 263-273. https://doi.org/10.1145/2872427.2883029

Piaget, J. (1954). The Construction of Reality in the Child (M. Cook, Trans.). New York: Basic Books. https://doi.org/ 10.1037/11168-000

Piaget, J., & Inhelder, B. (2016). *Psicología del niño*. Morata Madrid.

Picard, R. W. (1997). *Afective Computing.* MIT Press.

Pirsoul, T., Parmentier, M., & Nils, F. (2019, August). The rocky road to emotion measurement in learning and career development: On the use of self-reports. In *Proceedings of the 18th Biennial EARLI Conference for Research on Learning and Instruction, Aachen, Germany* (pp. 12-16). http://hdl.handle.net/2078.1/218801

Popper, K. (1967). *La lógica de la investigación científica*. Tecnos.

Porlán Ariza, R., & Martín, J. (1996). *El diario del profesor: un recurso para la investigación en el aula*. Sevilla: Diáda.

Privette, G. (1983). Peak experience, peak performance, and flow: A comparative analysis of positive human experiences. *Journal of Personality and Social Psychology*, *45*(6), 1361-1368. https://doi.org/10.1037/0022-3514.45.6.1361

Python Software Foundation (2021a). Python. Disponible en https://www.python.org/ (13/02/2023)

Python Software Foundation (2021c). Threading. Thread-based parallelism. Zero Clause BSD License. Disponible en https://docs.python.org/es/3.7/library/threading.html (26/02/2021)

Quattrone, G. A. (1985). On the congruity between internal states and action. *Psychological Bulletin*, *98*(1), 3-40. https://doi.org/10.1037/0033-2909.98.1.3

Quazi, M. T., Mukhopadhyay, S. C., Suryadevara, N. K., & Huang, Y. M. (2012). Towards the smart sensors based human emotion recognition. *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, 2365-2370. https://doi.org/10.1109/I2MTC.2012.6229646

Quintana, D. S., Guastella, A. J., Outhred, T., Hickie, I. B., & Kemp, A. H. (2012). Heart rate variability is associated with emotion recognition: Direct evidence for a relationship between the autonomic nervous system and social cognition. *International Journal of Psychophysiology*, *86*(2), 168-172. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2012.08.012

Rainisio, N. (2012). Nature del benessere. Gli effetti psicologici dell'ambiente naturale in una prospettiva bio-culturale. Università degli Studi di Milano. Tesis no publicada

Ramírez L., Y. D. V., & Rosas, D. A. (2015). Aplicación de la teoría de estilos de aprendizaje al diseño de contenidos didácticos en entornos virtuales. *Etic@net. Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento*, *14*(2), 176-197. https://doi.org/10.30827/eticanet.v14i2.11975

Ramos, C. A. (2015). *Los paradigmas de la investigación científica*. Avances en Psicología, 23(1), 9-17. https://doi.org/10.33539/avpsicol.2015.v23n1.167

Ramos-Galarza, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1-7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

Rani, P., Sarkar, N., Smith, C. A., & Kirby, L. D. (2004). Anxiety detecting robotic system – towards implicit human-robot collaboration. *Robotica*, *22*(1), 85-95. https://doi.org/10.1017/S0263574703005319

Rathunde, K. & Csikszentmihalyi, M. (2005). Middle School Students' Motivation and Quality of Experience: A Comparison of Montessori and Traditional School Environments. *American Journal of Education, 111(3), 341–371.* doi:10.1086/428885

Reason, P., & Bradbury, H. (Eds.). (2008). *The SAGE handbook of action research: Participative inquiry and practice (2ª ed.)*. Sage.

Reddy, Y. C. A. P., Viswanath, P., & Reddy, B. E. (2018). Semi-supervised learning: A brief review. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(1.8), Article 1.8. https://doi.org/10.14419/ijet.v7i1.8.9977

Reeve, J. (2010). *Motivacion y Emoción* (5.ª ed.). McGraw-Hill Education. Madrid. ISBN: 978-607-15-0300-8

Reigeluth, C. M. (1979). In search of a better way to organize instruction: The elaboration theory. *Journal of Instructional Development*, 2(3), 8-15. https://doi.org/10.1007/bf02984374

Reigeluth, C., & Stein, R. (1983). Elaboration theory. *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*. 335-381. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates

Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. En Stiensmeier-Pelster, J. & Rheinberg, F. (Ed.) Diagnostik von Motivation und Selstkonzept (Tests und Trends N.F. 2) (S. 261-279). Göttingen: Hogrefe.

Rheinberg, F., Manig, Y., Kliegl, R., Engeser, S., & Vollmeyer, R. (2007). Flow bei der Arbeit, doch Glück in der Freizeit. Zielausrichtung, Flow und Glücksgefühle [Flow during work but

happiness during leisure time: Goals, flow-experience, and happiness]. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 51, 105–115.

Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). *Why Should I Trust You?: Explaining the Predictions of Any Classifier* (arXiv:1602.04938). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1602.04938

Rizvi, F., & Lingard, B. (2013). *Políticas educativas en un mundo globalizado*. Ediciones Morata.

Rodgers, J. L., & Nicewander, W. A. (1988). Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient. *The American Statistician*, *42*(1), 59. https://doi.org/10.2307/2685263

Rodríguez, M. R. (2018). Aprendizaje con MOODLE. Revista Multi-Ensayos, 4(8), 18-25.

Rodríguez Sánchez, A. M. (2009). *The story flows on: A multi-study on the flow experience*.[Tesis de Doctorado, Universitat Jaume I-Castellón] Repositorio Institucional.

Rosas, D. A. (2014). Gamificación de un curso de Lengua de Signos Española en la plataforma educativa Moodle. TFM. Universidad de Murcia.

Rosas, D. A., Burgos, D., & Padilla-Zea, N. (2022). Improvement in educational performance through wearable-based flow predictive models. *2022 XII International Conference on Virtual Campus (JICV)*, 1-3.https://doi.org/10.1109/JICV56113.2022.9934498

Rosas, D. A., Padilla-Zea, N., & Burgos, D. (2023). Validated Questionnaires in Flow Theory: A Systematic Review. Electronics, 12(13), 2769. https://doi.org/10.3390/electronics12132769

Rosenzweig, E. Q., Wigfield, A., & Eccles, J. S. (2019). Expectancy-value theory and its relevance for student motivation and learning. In *The Cambridge Handbook of Motivation and Learning* (pp. 617–644). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316823279.026

Rowntree, D. (1984). *Introducción a la estadística: un enfoque no matemático*. Bogotá: Norma.

Russell, S. (1998). Learning agents for uncertain environments (extended abstract). *Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Computational Learning Theory*, 101-103. https://doi.org/10.1145/279943.279964

Russell, S. & Norvig, P. (1994). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. New Jersey: Prentice Hall.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2009). Promoting self-determined school engagement: Motivation, learning, and well-being. En *Handbook of motivation at school* (pp. 171-195). Routledge/Taylor & Francis Group.

Ryan, W. J., Duchowski, A. T., & Birchfield, S. T. (2008). Limbus/pupil switching for wearable eye tracking under variable lighting conditions. *Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications*, 61-64. https://doi.org/10.1145/1344471.1344487

Sadlo, G. (2016). Towards a neurobiological understanding of reduced self-awareness during flow: An occupational science perspective. In *Flow Experience: Empirical Research and Applications* (pp. 375–388). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28634-1_22

Sampieri, R. H. (2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw Hill México.

Santillán Aguirre, J. P., Cadena Vaca, V. del C., & Cadena Vaca, M. (2019). Educación STEAM: Entrada a la sociedad del conocimiento. *Ciencia Digital*, *3*(3.4.), 212-227. https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..847

Santos, O. C. (2016). Emotions and Personality in Adaptive e-Learning Systems: An Affective Computing Perspective. In *Emotions and Personality in Personalized Services,Human–Computer Interaction Series* (pp. 263–285). https://doi.org/10.1007/978-3-319-31413-6_13

Saturno Chiu, G. (2017). *Cardiología*. Manual Moderno. México.

Saxena, A., Khurana, A., Kothari, K., & Jain, S. K. (2004). Development of a "flow process scale" to measure flow among web users. *Journal of Internet Commerce*, *2*(4), 55–86. https://doi.org/10.1300/J179v02n04_04

Seppälä, S., Laitinen, T., Tarvainen, M. P., Tompuri, T., Veijalainen, A., Savonen, K., & Lakka, T. A. (2014). Normal values for heart rate variability parameters in children 6-8 years of age: the PANIC Study. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 34(4), 290–296. https://doi.org/10.1111/cpf.12096

Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in public health,* 5, 258. https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258

Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in psychology*, 5, 1040. doi:10.3389/fpsyg.2014.01040

Schiefele, U., & Csikszentmihalyi, M. (1994). Interest and the Quality of Experience in Classrooms. In *European Journal ofPsychology ofEducation: Vol. IX*.

Schüler, J. (2014). The dark side of the moon. In *Advances in Flow Research* (pp. 123–137). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2359-1_7

Schuller, D., & Schuller, B. W. (2018). The Age of Artificial Emotional Intelligence. *Computer*, *51*(9), 38-46. https://doi.org/10.1109/MC.2018.3620963

Seo, K., Fels, S., Kang, M., Jung, C., & Ryu, H. (2021). Goldilocks conditions for workplace gamification: how narrative persuasion helps manufacturing workers create self-directed behaviors. *Human-Computer Interaction*, *36*(5–6), 473–510. https://doi.org/10.1080/07370024.2020.1744145

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, *52*(3-4), 591-611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591

Shen, L., Wang, M., Shen, R., Journal, S., & April, N. (2009). Affective e-Learning: Using "Emotional" Data to Improve Learning in Pervasive Learning EnvironmentInternational. *Journal of Educational Technology & Society*, *12*(2), 176–189.

Shen, L., Wang, M., Shen, R., Journal, S., & April, N. (2016). *International Forum of Educational Technology & Society Affective e-Learning : Using " Emotional " Data to Improve Learning in Pervasive Learning Environment Published by : International Forum of Educational Technology & Society Affective e-Learning : Usi*. *12*(2)

Shin, N. (2006). Online learner's "flow" experience: An empirical study. *British Journal of Educational Technology*, *37*(5), 705–720. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2006.00641.x

Siekpe, J. S. (2005). An Examination Of The Multidimensionality Of Flow Construct In A Computer-Mediated Environment. *Journal of Electronic Commerce Research*, *6*(1).

Silva Díaz, F. R., Fernández-Ferrer, G., Vázquez-Vílchez, M., Ferrada, C., Narváez, R., & Carrillo-Rosúa, J. (2022). Tecnologías emergentes en la educación STEM. Análisis bibliométrico de publicaciones en Scopus y WoS (2010-2020). *Bordón. Revista de Pedagogía*, *74*(4), 25-44. https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94198

Simanullang, N. H. S., & Rajagukguk, J. (2020). Learning Management System (LMS) Based On Moodle To Improve Students Learning Activity. Journal of Physics: Conference Series, 1462(1), 012067. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1462/1/012067

Smirnov, N. (1948). Table for estimating the goodness of fit of empirical distributions. *The annals of mathematical statistics*, *19*(2), 279-281.

Solís Becerra, J. A., & Solano Fernández, I. M. (2013). El uso de las TIC en el currículo de inglés de Educación Primaria por parte del profesorado novel. *Didáctica (lengua y literatura). 2013, v. 25 ; p. 315-331*. https://doi.org/10.5209/rev_DIDA.2013.v25.42247

Speer, K. E., Semple, S., Naumovski, N., & McKune, A. J. (2020). Measuring heart rate variability using commercially available devices in healthy children: A validity and reliability study. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 10(1), 390-404. https://doi.org/10.3390/ejihpe10010029

Srinivasan, N., & Gingras, B. (2014). Emotional intelligence predicts individual differences in proneness for flow among musicians: the role of control and distributed attention. *Frontiers in psychology*, *5*, 608. pmid:24987386

Stenhouse, L. (1984). Investigación y desarrollo del currículum. Ediciones Morata. Madrid: Morata.

Strauss A. & Corbin J. (1998). *Basics of qualitative research: grounded theory procedures and techniques*. Newbury Park: Sage

Sun, C., Shrivastava, A., Singh, S., & Gupta, A. (2017). *Revisiting Unreasonable Effectiveness of Data in Deep Learning Era* (arXiv:1707.02968). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1707.02968

Surden, H. (2019). *Artificial Intelligence and Law: An Overview* (SSRN Scholarly Paper N.º 3411869). https://papers.ssrn.com/abstract=3411869

Swann, C., Driscoll, J., Goddard, S. G., Willis, R., Schweickle, M. J., Fernandes Ribeiro, I. A., Gatt, M., Jackman, P. C., & Vella, S. A. (2022). The Flow-Clutch Scale: Development and preliminary validation in sport and exercise. *Psychology of Sport and Exercise*, *58*, 102066. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102066

Swann, C., Driscoll, J., Goddard, S. G., Willis, R., Schweickle, M. J., Fernandes Ribeiro, I. A., Gatt, M., Jackman, P. C., & Vella, S. A. (2022). The Flow-Clutch Scale: Development and preliminary

validation in sport and exercise. *Psychology of Sport and Exercise*, *58*, 102066. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102066

Swann, C., Keegan, R. J., Piggott, D., & Crust, L. (2012). A systematic review of the experience, occurrence, and controllability of flow states in elite sport. *Psychology of Sport and Exercise*, *13*(6), 807-819. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.05.006

Swann, C., Piggott, D., Schweickle, M., & Vella, S. A. (2018). A Review of Scientific Progress in Flow in Sport and Exercise: Normal Science, Crisis, and a Progressive Shift. *Journal of Applied Sport Psychology*, *30*(3), 249-271. https://doi.org/10.1080/10413200.2018.1443525

Taddy, M. (2018). The technological elements of artificial intelligence. In *The economics of artificial intelligence: An agenda* (pp. 61-87). University of Chicago Press.

Tag, B., Chernyshov, G., & Kunze, K. (2017). Facial temperature sensing on smart eyewear for affective computing. *UbiComp/ISWC 2017 - Adjunct Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, 209–212. https://doi.org/10.1145/3123024.3123084

Tamura, T., Huang, M., & Togawa, T. (2018). Current Developments in Wearable Thermometers. *Advanced Biomedical Engineering*, *7*(0), 88-99. https://doi.org/10.14326/abe.7.88

Tan, L., & Sin, H. X. (2021). Flow research in music contexts: A systematic literature review. *Musicae Scientiae*, *25*(4), 399-428. https://doi.org/10.1177/1029864919877564

Tarvainen, M. P., Niskanen, J., Lipponen, J., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. P. (2014). Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 113(1), 210–220. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024

Tarvainen, M. P., Ranta-Aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2002). An advanced detrending method with application to HRV analysis. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 49(2), 172–175. https://doi.org/10.1109/10.979357

Tashakkori, A., & Teddlie, C. (Eds.). (2010). *SAGE handbook of mixed methods in social & behavioral research.* Sage Publications.

Thissen, B. A. K., Menninghaus, W., & Schlotz, W. (2018). Measuring optimal reading experiences: The reading flow short scale. *Frontiers in Psychology*, *9*(DEC). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02542

Tian, Y., Bian, Y., Han, P., Wang, P., Gao, F., & Chen, Y. (2017). Physiological Signal Analysis for Evaluating Flow during Playing of Computer Games of Varying Difficulty. *Frontiers in Psychology*, *8*. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2017.01121

Tlili, A., Chang, M., Moon, J., Liu, Z., Burgos, D., Chen, N.-S., & Kinshuk, K. (2021). A Systematic Literature Review of Empirical Studies on Learning Analytics in Educational Games. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 7(2), 250. https://doi.org/10.9781/ijimai.2021.03.003

Tomaka, J., Blascovich, J., Kelsey, R. M., & Leitten, C. L. (1993). Subjective, physiological, and behavioral effects of threat and challenge appraisal. *Journal of Personality and Social Psychology, 65*(2), 248–260. https://doi.org/10.1037/0022-3514.65.2.248

Tomaka, J., Blascovich, J., Kibler, J., & Ernst, J. M. (1997). Cognitive and physiological antecedents of threat and challenge appraisal. *Journal of Personality and Social Psychology, 73*(1), 63–72. https://doi.org/10.1037/0022-3514.73.1.63

Tozman, T., Zhang, Y. Y., & Vollmeyer, R. (2017). Inverted U-Shaped Function Between Flow and Cortisol Release During Chess Play. *Journal of Happiness Studies*, *18*(1), 247-268. https://doi.org/10.1007/s10902-016-9726-0

Tordet, C., Erhel, S., Wodey, E., Jamet, E., Nardi, N., & Gonthier, C. (2021). The Flow Observational Grid: An Observation-Based Solution to Assess Flow States. *Journal of Happiness Studies*, *22*(7), 3069-3089. https://doi.org/10.1007/s10902-021-00356-7

Torres, J. S. S., Córdoba, W. J. D., Cerón, L. F. Z., Amézquita, C. A. N., & Bastidas, T. O. Z. (2015). Correlación funcional del sistema límbico con la emoción, el aprendizaje y la memoria. *Morfolia*, 7(2), 29-44.

Tozman, T., Zhang, Y. Y., & Vollmeyer, R. (2017). Inverted U-Shaped Function Between Flow and Cortisol Release During Chess Play. *Journal of Happiness Studies*, *18*(1), 247-268. https://doi.org/10.1007/s10902-016-9726-0

Trevino, L. K., & Webster, J. (1992). Flow in Computer-Mediated Communication. *Communication Research*, *19*(5), 539–573. https://doi.org/10.1177/009365092019005001Tse, D. C. K., Lau, V. W., Perlman, R., & McLaughlin, M. (2020). The Development and Validation of the Autotelic Personality Questionnaire. *Journal of Personality Assessment*, *102*(1), 88-101. https://doi.org/10.1080/00223891.2018.1491855

Tse, D. C. K., Lau, V. W., Perlman, R., & McLaughlin, M. (2020). The Development and Validation of the Autotelic Personality Questionnaire. *Journal of Personality Assessment*, *102*(1), 88-101. https://doi.org/10.1080/00223891.2018.1491855

Turing, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind, New Series*, *59*(236), 433-460. https://www.jstor.org/stable/2251299

Tyagi, A., Cohen, M., Reece, J., Telles, S., & Jones, L. (2016). Heart Rate Variability, Flow, Mood and Mental Stress During Yoga Practices in Yoga Practitioners, Non-yoga Practitioners and People with Metabolic Syndrome. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, *41*(4), 381-393. https://doi.org/10.1007/s10484-016-9340-2

Ullén, F., de Manzano, Ö., Almeida, R., Magnusson, P., Pedersen, N., Jeanne Nakamura, J., Csíkszentmihályi, M. & Madison, G. (2012). Proneness for psychological flow in everyday life: Associations with personality and intelligence. *Personality and Individual Differences 52(2), 167–172.* doi:10.1016/j.paid.2011.10.003

Ullén, F., de Manzano, Ö., Theorell, T., & Harmat, L. (2013). The Physiology of Effortless Attention: Correlates of State Flow and Flow Proneness. In *Effortless Attention* (pp. 205–218). The MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262013840.003.0011

Ulrich, M., Keller, J., & Grön, G. (2016a). Neural signatures of experimentally induced flow experiences identified in a typical fMRI block design with BOLD imaging. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *11*(3), 496-507. https://doi.org/10.1093/scan/nsv133

UNESCO (2019). *Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM).* Ediciones UNESCO: París. Disponible en https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649

Van Rossum, G., & Drake, F. L. (2021). *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace. Disponible en: https://docs.python.org/3/reference/ [consultado: 11/05/2022]

Van Schaik, P., Martin, S., & Vallance, M. (2012). Measuring flow experience in an immersive virtual environment for collaborative learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, *28*(4), 350–365. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00455.x

Vapnik, V. (1999). *The nature of statistical learning theory*. Springer science & business media.

Vuorikari, R., Ferrari, A., & Punie, Y. (2019). *Makerspaces for Education and Training: Exploring future implications for Europe* (No. JRC117481). Joint Research Centre (Seville site). Disponible en https://patalano.umasscreate.net/sites/default/files/KJNA29819ENN.en.pdf

Vygotsky, L. S. (1962). Thought and language. Cambridge, Mass., The MIT Pres.

Vygotsky, L. S. (2011). The Dynamics of the Schoolchild's Mental Development in Relation to Teaching and Learning. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, *10*(2), 198-211. https://doi.org/10.1891/1945-8959.10.2.198

Webster, J., Trevino, L. K., & Ryan, L. (1993). The dimensionality and correlates of flow in human-computer interactions. *Computers in Human Behavior*, *9*(4), 411-426. https://doi.org/10.1016/0747-5632(93)90032-N

Wigfield, A. & Eccles, J. (2000). Expectancy-value theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 68-81.

Wigfield, A., Faust, L. T., Cambria, J., & Eccles, J. S. (2019). Motivation in education. In R. M. Ryan (Ed.), *The Oxford handbook of human motivation* (pp. 443–461). Oxford University Press.

Wigfield, A., Tonks, S., & Klauda, S. L. (2009). Expectancy-value theory. In K. R. Wenzel & A. Wigfield (Eds.), *Handbook of motivation at school* (pp. 55–75). Routledge/Taylor & Francis Group.

Wiggers, C. J. (1923). *Circulation in health and disease*. Philadelphia: Lea & Febiger

Wrigley, W. J., & Emmerson, S. B. (2013). The experience of the flow state in live music performance. *Psychology of Music*, *41*(3), 292-305. doi:10.1177/0305735611425903

Wilcoxon, F. (1946). Individual Comparisons of Grouped Data by Ranking Methods. *Journal of Economic Entomology*, 39(2), 269-270. https://doi.org/10.1093/jee/39.2.269

Wilson, E. E., & Moneta, G. B. (2016). The flow metacognitions questionnaire (FMQ): A two factor model of flow metacognitions. *Personality and Individual Differences*, *90*, 225-230. https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.11.004

Wong, M., & Csikszentmihalyi, M. (1991). Motivation and Academic Achievement: The Effects of Personality Traits and the Quality of Experience. *Journal of Personality*, *59*. https://doi.org/10.1111/j.1467-6494.1991.tb00259.x

Xue, Y. (2019). A review on intelligent wearables: Uses and risks. *Human Behavior and Emerging Technologies*, *1*(4), 287-294. https://doi.org/10.1002/hbe2.173

Yan, Q., & Donaldson, S. I. (2022). What are the differences between flow and work engagement? A systematic review of positive intervention research. *The Journal of Positive Psychology*, 1-11. https://doi.org/10.1080/17439760.2022.2036798

Yang, J. C., & Quadir, B. (2018). Individual differences in an English learning achievement system: gaming flow experience, gender differences and learning motivation. *Technology, Pedagogy and Education*, *27*(3), 351–366. https://doi.org/10.1080/1475939X.2018.1460618

Yetisen, A. K., Martinez-Hurtado, J. L., Ünal, B., Khademhosseini, A., & Butt, H. (2018). Wearables in Medicine. *Advanced Materials*, *30*(33), 1706910. https://doi.org/10.1002/adma.201706910

Yoshida, K., Asakawa, K., Yamauchi, T., Sakuraba, S., Sawamura, D., Murakami, Y., & Sakai, S. (2013). The Flow State Scale for Occupational Tasks: Development, Reliability, and Validity. *Hong Kong Journal of Occupational Therapy*, *23*(2), 54-61. https://doi.org/10.1016/j.hkjot.2013.09.002

Youngmoo, E.K, Edouard, K., Alderfer, K., Smith, B. (2018). Making Culture: A National Study of Ed Makerspaces. ExCITe Center. Disponible en https://drexel.edu/~/media/Files/excite/making-culture-full-report.ashx

Zhang, Q., & Zhu, S. (2018). Visual interpretability for deep learning: A survey. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, *19*(1), 27-39. https://doi.org/10.1631/FITEE.1700808

Zhu, X. (Jerry). (2005). *Semi-Supervised Learning Literature Survey* [Technical Report]. University of Wisconsin-Madison Department of Computer Sciences. https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/60444

Zumeta, L., Basabe, N., Wlodarczyk, A., Bobowik, M., & Paez, D. (2016b). Flujo Compartido y Reuniones Colectivas Positivas. *Anales de Psicología*, *32*(3), 717. https://doi.org/10.6018/analesps.32.3.261651

Zumeta, L. N., Oriol, X., Telletxea, S., Amutio, A., & Basabe, N. (2016a). Collective Efficacy in Sports and Physical Activities: Perceived Emotional Synchrony and Shared Flow. *Frontiers in Psychology*, *6*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01960

ANEXO 1. LISTA DE VERIFICACIÓN PRISMA-P (PREFERRED REPORTING ITEMS FOR SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS PROTOCOLS) 2015.

Traducida por:

Estarli, M., Aguilar Barrera, E. S., Martínez-Rodríguez, R., Baladia, E., Duran Agüero, S., Camacho, S., Buhring, K., Herrero-López, A., & Gil-González, D. M. (2016). Ítems de referencia para publicar Protocolos de Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis: Declaración PRISMA-P 2015. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, *20*(2), 148-160. https://doi.org/10.14306/renhyd.20.2.223

SECCIÓN/TEMA	Nº Ítem	Ítem de la lista de verificación
INTRODUCCIÓN		
Justificación	6	Describir la justificación de la revisión en el contexto de lo que ya se conoce sobre el tema (página 26)
Objetivos	7	Plantear de forma explícita las preguntas que se desea contestar con los Participantes, Intervenciones, Comparaciones y Resultados (PICO) (página 26)
MÉTODOS		
Criterios de elegibilidad	8	Especificar las características de los estudios (p.ej. PICO, diseño del estudio, contexto, duración del seguimiento) y detallar las características (p.ej. años abarcados, idioma o estatus de la publicación) usados como criterios de elegibilidad de la revisión (páginas 27)

Fuentes de información	9	Describir, con las fechas de cobertura previstas, todas las fuentes de información (p.ej. bases de datos, y periodos de búsqueda, contacto con los autores de los estudios, registros de los estudios, y otras fuentes de literatura gris). (27)
Estrategia de búsqueda	10	Presentar el borrador de la estrategia de búsqueda que se utilizará en al menos una base de datos electrónica, incluyendo límites propuestos, de manera que pueda repetirse (páginas 27)
Registros de estudios		
Gestión de datos	11a	Detallar los mecanismos que se utilizarán para gestionar los datos y los registros durante la revisión sistemática (páginas 26-28)
Proceso de selección	11b	Exponer el proceso que se utilizará para seleccionar los estudios (p.ej. dos revisores independientes) en cada fase de la revisión (es decir, cribado, elegibilidad e inclusión en el metaanálisis (páginas 26-28)
Proceso de extracción de datos	11c	Describir el método para la extracción de datos de las publicaciones (p. ej. Uso de formularios de extracción uniforme de datos, por duplicado y de forma independiente) y cualquier proceso destinado a la obtención y confirmación de los datos de los investigadores (páginas 26-28)
Lista de datos	12	Enumerar y definir todas las variables para las que se buscarán datos (p. ej. PICO, fuente de financiación) y cualquier asunción o simplificación de dichos datos planteada de antemano (páginas 26-28)
Resultados esperados y priorización	13	Enumerar y detallar todos los resultados esperados para los que se buscarán datos, incluyendo la priorización y justificación de los resultados principales y adicionales (páginas 28-29)
Riesgo de sesgo en los estudios individuales	14	Detallar los métodos previstos para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales, incluyendo si se aplicarán a nivel de desenlace esperado, a nivel e estudio, o de ambos; exponer cómo se utilizará esta información en la síntesis de datos (MMAT. Ver anexo 3)
Síntesis de datos	15a	Describir los criterios que permitirán sintetizar cualitativamente los datos d ellos estudios (N/A)
	15b	Si los datos son adecuados para su síntesis cuantitativa, describir las medidas planificadas para resumirlos, métodos de tratamiento de datos y métodos de combinación de datos, incluyendo análisis de consistencia interna (p. ej. I2, tau de Kendall). (N/A)
	15c	Detallar todo el análisis adicional propuesto (p.ej. sensibilidad o análisis de subgrupo, metarregresión) (N/A)

	15d	Si la síntesis cuantitativa no resulta adecuada, describir el tipo de resumen de datos planificado (N/A)
Metasesgos	16	Especificar todas las evaluaciones de metasesgos planificadas (p. ej. Sesgo de publicación en diferentes estudios, la presentación de información selectiva de los estudios) (N/A)
Confianza en la evidencia acumulada	17	Describir de qué manera se evaluará la solidez del conjunto de pruebas (p.ej. GRADE) (N/A)

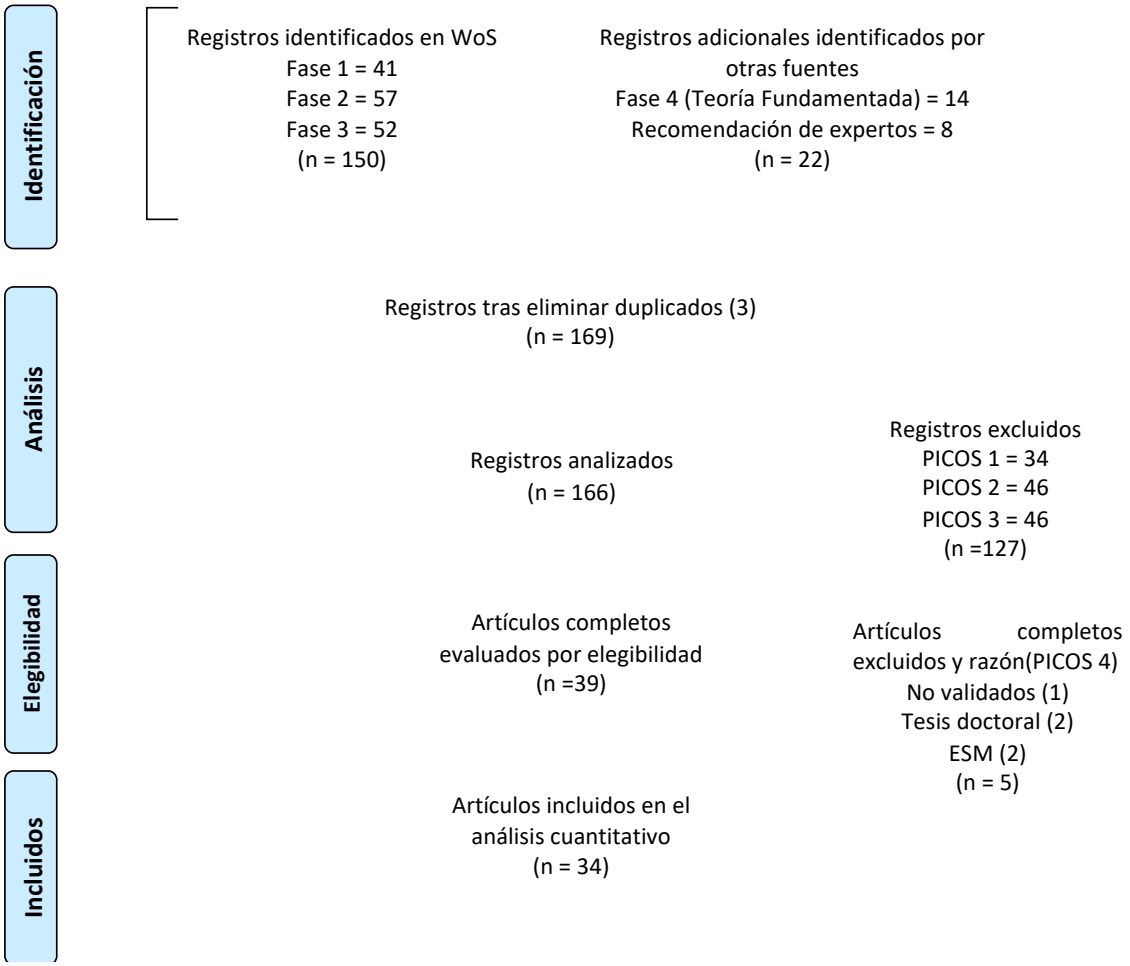
*** Se recomienda encarecidamente leer esta lista de verificación junto con el documento de Explicación y Elaboración de PRISMA-P, para aclaraciones importantes sobre los ítems. Las correcciones en un protocolo de una revisión deben identificarse y fecharse. El copyright de PRISMA-P (incluida la lista de verificación) pertenece al PRISMA-P Group y es distribuido bajo licencia Creative Commons Attribution Licence 4.0.**

De: Shamseer L, Moher D, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, Shekelle P, Stewart L, PRISMA-P Group. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. BMJ. 2015 Jan 2;349(jan02 1):g7647.

ANEXO 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO PRISMA 2009

Traducido de:

Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). *P*referred *R*eporting *I*tems for *S*ystematic Reviews and *M*eta-*A*nalyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(6): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097



Para más información, visitar www.prisma-statement.org.

ANEXO 3. MIXED-METHODS APPRAISAL TOOL (MMAT).

Traducido de:

Hong, Q. N., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., O'Cathain, A., Rousseau, M.-C., Vedel, I., & Pluye, P. (2018). The Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT) version 2018 for information professionals and researchers. *Education for Information, 34*(4), 285-291. https://doi.org/10.3233/EFI-180221

				PREGUNTAS PRELIMINARES		**ESTUDIOS CUANTITATIVOS DESCRIPTIVOS**				
ID (ítems)	Primer autor	Año	DOI	S1. ¿Están claras las preguntas de investigación?	S2. ¿Permiten los datos recabados contestar las preguntas de investigación?	4.1. ¿La estrategia de muestreo es relevante para contestar las preguntas de investigación?	4.2. ¿La muestra es representativa de la población objetivo?	4.3. ¿Las medidas son adecuadas?	4.4. ¿El riesgo de no respuesta es bajo?	4.5. ¿El análisis estadístico es adecuado para responder la pregunta de investigación?
FSS-1 (36)	Jackson	1996	https://doi.org/10.1123/jsep.18.1.17	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí

FSS-1 (54)	Jackson	1996	https://doi.org/10.1123/jsep.18.1.17	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
FSS-2 (36)	Jackson	2008	https://doi.org/10.1123/jsep.30.5.561	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
FSS-2 (9)	Jackson	2008	https://doi.org/10.1123/jsep.30.5.561	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
DFS-1 (36)	Jackson	1998	https://doi.org/0.1123/jsep.20.4.358	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí

DFS-2 (36)	Jackson	2008	https://doi.org/10.1123/jsep.30.5.561	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
DFS-2 (9)	Jackson	2008	https://doi.org/10.1123/jsep.30.5.561	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
CFS (10)	Martin	2008	https://doi.org/10.1007/s11031-008-9094-0	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

SFPQ (21)	Ullén	2012	https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.10.003	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
FKS (13)	Rheinberg	2003	https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/551/file/Rheinberg_ErfassungFlow_Erleben_mitAnhangFKS.pdf	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
FKS (10)	Engeser	2008	https://doi.org/10.1007/s11031-008-9102-4	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

WOLF (13)	Bakker	2008	https://doi.org/10.1016/j.jvb.2007.11.007	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
RFSS (8)	Thissen	2018	https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02542	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
FHCI (11)	Webster	1993	https://doi.org/10.1016/0747-5632(93)90032-N	Sí	Sí	Sí	No puedo decirlo	Sí	No puedo decirlo	Sí
FS (65)	Novak	2000	https://doi.org/10.1287/mksc.19.1.22.15184	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

FPS (63)	Saxena	2004	https://doi.org/10.1300/J179v02n04_04	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
EduFlow1 (12)	Heutte	2016	https://doi.org/10.1007/978-3-319-28634-1_9	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Eduflow2 (12)	Heutte	2021	https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.828027	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí

GSR (12)	Ghani	1991	http://aisel.aisnet.org/icis1991/9	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
VFM (21)	Shin	2005	https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2006.00641.x	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
FMI (30)	Guo	2009	https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2575.2007.00292.x	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
AK (52)	Agarwal	2009	https://doi.org/10.2307/3250951	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
FSG (25)	Kiili	2006	https://doi.org/10.17011/ht/urn.2006518	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí

GameFlow (45)	Kiili	2008	https://eric.ed.gov/?id=EJ799786	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
EGameFlow (66)	Fu	2009	https://doi.org/ doi:10.1016/j.compedu.2008.07.004	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
FSSOT (14)	Yoshida	2013	https://doi.org/10.1016/j.hkjot.2013.09.002	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
FOG (13)	Tordet	2021	https://doi.org/10.1007/s10902-021-00356-7	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

FCS (22)	Swann	2022	https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2021.102066	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
WOLF-S (13)	Bakker	2017	https://doi.org/10.15516/cje.v19i1.2194	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
SFWS ()	Moneta	2012	http://dx.doi.org/10.1007/s11031-012-9278-5	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí

FMQ (12)	Wilson	2016	2016;90:225–30. https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.11.004	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí
APQ (26)	Tse	2020	https://doi.org/10.1080/00223891.2018.1491855	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
SFS (27)	Zumeta	2015	https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01960	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No puedo decirlo	Sí
FIMA (18)	Custodero	2021	https://doi.org/doi:10.1177/104837139801200106.	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí

ANEXO 4. ARCHIVOS DE BÚSQUEDAS EN WOS EN FORMATO CSV.

En este anexo, indicamos las URL cortas y los códigos QR de los archivos CSV descargados tras las búsquedas sistemáticas en WoS.

Fase 1

https://acortar.link/VwqD3c

Fase 2

https://acortar.link/Wp1Mkc

Fase 3

https://acortar.link/oyuFIJ

ANEXO 5. TEST DE FELDER-SILVERMAN

UNIR UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA	**TEST DE FELDER**	UNIR ITED

NOTA ACLARATORIA:

1. Al contestar estos cuestionarios, participas en una de investigación científica de la Universidad Internacional de la Rioja, en la que queremos conocer mejor una de las teorías más importantes sobre la motivación en la educación, que se llama la Teoría Flow.

2. Con ello queremos conseguir que las personas aprendan más, de forma más divertida y agradable, de ahí su importancia para la humanidad.

3. La participación en el proceso es totalmente anónima (nadie sabrá quién eres) y voluntaria (participas si quieres).

4. Con estos datos se llevará a cabo una tesis doctoral en Ciencias de la Computación y sólo se usarán con ese fin.

5. El investigador principal es el maestro D. David Antonio Rosas Espín, con DNI [redacted], email davidantonio.rosas@unir.net y móvil de contacto [redacted].

6. Agradecemos mucho tu colaboración desinteresada.

FECHA:_____

PON TU NOMBRE EN CLAVE, POR FAVOR	⬇
La primera letra del nombre de mi **abuelo materno** (A, B, C, etc.) es	
La primera letra del nombre de mi **abuela materna** es (A, B, C, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **madre** es el (1, 2, 3, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **padre** es el (1, 2, 3, etc.)	
¿Qué número de orden ocupas entre tus hermanos/as si tienes (1º, 2º, 3º, etc.)	

Instrucciones:

Para cada una de las preguntas que hay a continuación, selecciona la opción "a" o "b" para indicar tu respuesta a cada pregunta. Por favor, selecciona solamente una respuesta para cada pregunta. Si tanto "a" como "b" parecen aplicarse a ti, elige la opción que se aplica con mayor frecuencia. No hay respuestas buenas ni malas. Muchas gracias.

1. Entiendo algo mejor después de

(a) probarlo.

(b) pensar en ello.

2. Prefiero que me consideren

(a) realista

(b) innovador/a

3. Cuando pienso acerca de lo que hice ayer, tengo más probabilidades de hacerlo en base a

(a) una imagen.

(b) las palabras.

4. Tiendo a

(a) entender los detalles de un tema, pero no visualizar claramente su estructura completa.

(b) la estructura completa, pero no visualizar claramente los detalles.

5. Cuando estoy aprendiendo algo nuevo, me ayuda

(a) hablar de ello.

(b) pensar en ello.

6. Si yo fuera profesor, yo preferiría dar un curso

(a) que trate sobre hechos y situaciones reales de la vida.

(b) que trate los temas a través de ideas y teorías.

7. Prefiero obtener información nueva de

(a) imágenes, diagramas, gráficos o mapas.

(b) instrucciones escritas o información hablada.

8. Una vez que entiendo:

(a) todas las partes, entiendo el total.

(b) el total de algo, entiendo cómo encajan sus partes.

9. En un grupo de estudio que trabaja con un material difícil, es más probable que

(a) participe y contribuya con ideas.

(b) no participe y sólo escuche.

10. Es más fácil para mí

(a) aprender hechos.

(b) aprender conceptos.

11. En un libro que contiene muchas imágenes y gráficos, lo más probable es

(a) que revise las imágenes y gráficos cuidadosamente.

(b) que me concentre en el texto escrito.

12. Cuando resuelvo problemas de matemáticas

(a) por lo general, trabajo para hallar la solución, paso a paso.

(b) a menudo, solo veo las soluciones, pero luego, me cuesta imaginar los pasos para llegar a ellas.

13. En las clases a las que he asistido

(a) por lo general, he llegado a conocer a muchos de los estudiantes.

(b) raramente he llegado a conocer a muchos de los estudiantes.

14. Cuando leo temas que no son de ficción, prefiero

(a) algo que me enseñe nuevos hechos o me diga cómo hacer algo.

(b) algo que me dé nuevas ideas en qué pensar.

15. Me gustan las profesoras:

(a) que utilizan muchos esquemas en la pizarra.

(b) que pasan mucho tiempo explicando.

16. Cuando estoy analizando un cuento o una novela

(a) pienso en los incidentes y trato de unirlos para entender los temas.

(b) me doy cuenta de cuáles son los temas cuando termino de leer y luego tengo que regresar y encontrar los incidentes que lo demuestran.

17. Cuando comienzo a trabajar un problema, es más probable que:

(a) empiece a trabajar en la solución inmediatamente.

(b) trate de entender completamente el problema, en primer lugar.

18. Prefiero la idea de

(a) certeza.

(b) teoría.

19. Recuerdo mejor

(a) lo que veo.

(b) lo que oigo.

20. Es más importante para mí que un profesor

(a) exponga el material paso a paso con claridad.

(b) me dé una vista general y relacione el material con otros temas.

21. Prefiero estudiar

(a) con un grupo de estudio.

(b) individualmente.

22. Me considero

(a) cuidadoso/a en los detalles de mi trabajo

(b) creativo/a en la forma en que hago mi trabajo.

23. Cuando alguien me da direcciones de nuevos lugares, prefiero

(a) un mapa

(b) instrucciones escritas

24. Aprendo

(a) a un paso constante. Si estudio con esfuerzo, consigo lo que deseo.

(b) con inicios y paradas. Me llego a confundir y de pronto lo entiendo.

25. Prefiero primero

(a) hacer algo y ver qué sucede.

(b) pensar cómo voy a hacer algo.

26. Cuando leo por placer, me gustan los escritores o escritoras que

(a) dicen claramente lo que quieren dar a entender.

(b) dicen las cosas de manera creativa e interesante.

27. Cuando veo un diagrama o esquema en clase, suelo recordar la mayor parte de las veces

(a) la imagen.

(b) lo que dijo la profesora al respecto.

28. Al considerar un conjunto de información, es más probable que

(a) me concentre en los detalles y pierda la visión del total de la misma.

(b) trate de entender el total antes de ir a los detalles.

29. Recuerdo con mayor facilidad

(a) algo que he hecho.

(b) algo en lo que he pensado mucho.

30. Cuando tengo que hacer un trabajo, prefiero

(a) dominar una forma de hacerlo.

(b) intentar otras formas de hacerlo.

31. Cuando alguien me enseña datos, prefiero

(a) gráficos.

(b) resúmenes con texto.

32. Cuando escribo un trabajo, es más probable que

(a) piense o escriba desde el principio y avance.

(b) piense o escriba en diferentes partes y luego las ordene.

33. Cuando tengo que trabajar en grupo en un proyecto, primero realizo

(a) una "tormenta de ideas" donde cada persona dé ideas.

(b) una "tormenta de ideas" individual y luego juntarme con el grupo para comparar las ideas.

34. Considero que es mejor elogio llamar a alguien

(a) sensible

(b) imaginativo.

35. Cuando conozco gente nueva en una fiesta, es más probable que recuerde

(a) su apariencia.

(b) lo que dijeron de sí mismos.

36. Cuando estoy aprendiendo un tema, prefiero

(a) mantenerme concentrado en ese tema, aprendiendo lo más que pueda de él.

(b) hacer conexiones entre ese tema y otros temas relacionados.

37. Me considero

(a) abierto/a.

(b) reservado/a.

38. Prefiero cursos que dan más importancia a

(a) material concreto (hechos, datos).

(b) material abstracto (conceptos, teorías).

39. Para divertirme, prefiero

(a) ver televisión.

(b) leer un libro.

40. Algunos profesores inician sus clases haciendo un esquema de lo que enseñarán. Estos esquemas son

(a) algo útil para mí.

(b) muy útil para mí.

41. La idea de hacer la tarea en grupos, con una sola calificación para todo el grupo

(a) me gusta.

(b) no me gusta.

42. Cuando hago cálculos largos

(a) tiendo a repetir todos mis pasos y comprobar mi trabajo cuidadosamente.

(b) me parece aburrido comprobar mi trabajo y tienen que obligarme a hacerlo.

43. Tiendo a recordar lugares en los que he estado:

(a) fácilmente y con bastante exactitud.

(b) con dificultad y sin mucho detalle.

44. Cuando resuelvo problemas en grupo, es más probable que yo

(a) piense en los pasos para la solución de los problemas.

(b) piense en las posibles consecuencias o aplicaciones de la solución en un amplio rango de campos.

ANEXO 6. CUESTIONARIO SFPQ.

unir UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA	**CUESTIONARIO SFPQ**	unir ITED

NOTA ACLARATORIA:

1. Al contestar estos cuestionarios, participas en una de investigación científica de la Universidad Internacional de la Rioja, en la que queremos conocer mejor una de las teorías más importantes sobre la motivación en la educación, que se llama la Teoría Flow.

2. Con ello queremos conseguir que las personas aprendan más, de forma más divertida y agradable, de ahí su importancia para la humanidad.

3. La participación en el proceso es totalmente anónima (nadie sabrá quién eres) y voluntaria (participas si quieres).

4. Con estos datos se llevará a cabo una tesis doctoral en Ciencias de la Computación y sólo se usarán con ese fin.

5. El investigador principal es el maestro D. David Antonio Rosas Espín, con DNI [redacted], email davidantonio.rosas@unir.net y móvil de contacto [redacted].

6. Agradecemos mucho tu colaboración desinteresada.

FECHA:_____

PON TU NOMBRE EN CLAVE, POR FAVOR	⬇
La primera letra del nombre de mi **abuelo materno** (A, B, C, etc.) es	
La primera letra del nombre de mi **abuela materna** es (A, B, C, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **madre** es el (1, 2, 3, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **padre** es el (1, 2, 3, etc.)	
¿Qué número de orden ocupas entre tus hermanos/as si tienes (1º, 2º, 3º, etc.)	

Instrucciones:

Estas preguntas se refieren a cómo te sientes cuando realizas actividades en distintos sitios. Por favor, valora cada respuesta de 1 (nunca) a 5 (siempre o casi siempre). Gracias.

Cuando estás **en la escuela**, ¿con qué frecuencia sucede que…

1 ...te aburres?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

2 ...sientes como si tu habilidad para hacer la tarea es completamente adecuada a lo difícil que es esa tarea?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

3 ...tienes una idea clara de lo que quieres conseguir y lo que tienes que hacer para conseguirlo?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

4 ...sabes lo bien o lo mal que haces los que estás haciendo?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

5 ...te sientes completamente concentrado o concentrada?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

6 ...tienes un sentimiento de completo control?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

7 ...lo que haces es extremadamente divertido de hacer?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

Cuando haces **tareas de casa y otras rutinas** (ayudar en la limpieza y el orden, ayudar a cocinar) ¿con qué frecuencia sucede que…

8 ...te aburres?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

9 ...sientes como si tu habilidad para hacer la tarea es completamente adecuada a lo difícil que es esa tarea?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

10 ...tienes una idea clara de lo que quieres conseguir y lo que tienes que hacer para conseguirlo?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

11 ...sabes lo bien o lo mal que haces los que estás haciendo?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

12 ...te sientes completamente concentrado o concentrada?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

13 ...tienes un sentimiento de completo control?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

14 ...lo que haces es extremadamente divertido de hacer?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

Cuando haces algo **en tu tiempo libre**, ¿con qué frecuencia sucede que…

15 ...te aburres?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

16 ...sientes como si tu habilidad para hacer la tarea es completamente adecuada a lo difícil que es esa tarea?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

17 ...tienes una idea clara de lo que quieres conseguir y lo que tienes que hacer para conseguirlo?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

18 ...sabes lo bien o lo mal que haces los que estás haciendo?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

19...te sientes completamente concentrado o concentrada?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

20 ...tienes un sentimiento de completo control?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

21 ...lo que haces es extremadamente divertido de hacer?

1	2	3	4	5
Nunca	Raramente	A veces	Frecuentemente	Siempre o casi siempre

ANEXO 7. CUESTIONARIOS EDUFLOW Y FKS.

Los ítems que comienzan con la letra D, pertenecen al cuestionario EduFlow, mientras que el resto, son del cuestionario FKS.

unir UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA	**CUESTIONARIOS EDUFLOW Y FKS**	unir ITED

NOTA ACLARATORIA:

1. Al contestar estos cuestionarios, participas en una de investigación científica de la Universidad Internacional de la Rioja, en la que queremos conocer mejor una de las teorías más importantes sobre la motivación en la educación, que se llama la Teoría Flow.

2. Con ello queremos conseguir que las personas aprendan más, de forma más divertida y agradable, de ahí su importancia para la humanidad.

3. La participación en el proceso es totalmente anónima (nadie sabrá quién eres) y voluntaria (participas si quieres).

4. Con estos datos se llevará a cabo una tesis doctoral en Ciencias de la Computación y sólo se usarán con ese fin.

5. El investigador principal es el maestro D. David Antonio Rosas Espín, con DNI [redacted], email davidantonio.rosas@unir.net y móvil de contacto [redacted].

6. Agradecemos mucho tu colaboración desinteresada.

FECHA:_____

PON TU NOMBRE EN CLAVE, POR FAVOR	⬇
La primera letra del nombre de mi **abuelo materno** (A, B, C, etc.) es	
La primera letra del nombre de mi **abuela materna** es (A, B, C, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **madre** es el (1, 2, 3, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **padre** es el (1, 2, 3, etc.)	
¿Qué número de orden ocupas entre tus hermanos/as si tienes (1º, 2º, 3º, etc.)	

Instrucciones:

Estas preguntas que hay a continuación se refieren a cómo te has sentido durante la clase de hoy.

Valora cuánto estás de acuerdo con cada pregunta, marcando un punto en la línea de puntos que hay a su derecha (de nada a mucho). Recuerda que no hay respuestas buenas ni malas. Muchas gracias.

	PREGUNTAS	nada en parte mucho
D1a	Me siento capaz de hacer frente a las altas exigencias de la situación	
D1b	Siento que controlo perfectamente mis acciones	
D1c	En cada momento, sé lo que tengo que hacer	
D2a	El tiempo parece pasar de forma diferente a lo habitual	
D2b	Tengo la impresión de que el tiempo pasa rápidamente	
D2c	No noto el tiempo pasar	
D3a	No me preocupa lo que otros los otros puedan pensar de mí	
D3b	No temo los juicios de otros	
D3c	No me siento inquieto por lo que otros puedan pensar de mí	
D4a	Tengo el sentimiento de estar haciendo algo entusiasmante	
D4b	Esta actividad me produce bienestar	
D4c	Cuando hablo de esta actividad, siento una fuerte emoción que me hace compartirla	
1	Siento la cantidad justa de dificultad	
3	No noto el tiempo pasar	
	PREGUNTAS	**nada en parte mucho**
4	No tengo dificultad en concentrarme	
5	Mi mente está totalmente clara	
6	Estoy completamente absorto en lo que estoy haciendo	
7	Los pensamientos/movimientos suceden como por sí mismos	
9	No puedo cometer errores ahora	
10	Siento que tengo todo bajo control	

11	Estoy completamente perdido en mis pensamientos	
12	Hay algo importante en juego para mi	
13	Me preocupa fallar	

A1	Comparado con todas las otras actividades en las que he participado, esta actividad es….	fácil difícil
A2	Pienso que mi competencia en esta materia es….	baja alta
A3	Para mi, personalmente, la exigencia que pide esta tarea es….	demasiado adecuada demasiado baja alta

ANEXO 8. ENTREVISTAS.

ID	Dando clase de XXX con qué frecuencia sucede que …	Interés por triangular
Q1*	…te sientes tan concentrado que solo te interesan las actividades y no haces caso de lo que sucede a tu alrededor?	Absortamiento cognitivo
Q2*	…sientes que el tiempo pasa tan rápidamente que la clase se te hace muy corta?	Volatilidad del tiempo
Q3*	…lo que haces es muy divertido de hacer	Autotelismo
Q4*	…has llegado a realizar actividades sin esfuerzo aparente	Característica del *flow* (Csikszentmihalyi, 1990)
Q5	¿La dificultad de las actividades ha ido aumentando poco a poco?	Dimensión progresividad de la escala FKS
Q6	¿Cómo de importantes han sido para ti las actividades?	Importancia de las tareas de la escala FKS
Q7	¿Por qué?	Expectativas
Q8	¿Qué es lo que más te ha gustado del curso?	Aceptación del curso
Q9	¿Y lo que menos?	Aceptación del curso
Q10	¿Han funcionado bien los ordenadores?	Preparación previa del aula
Q11	¿Qué nota le pones al curso (1-10)?	Aceptación del curso
*q1, q2, q3 y q4 se responden con escalas Likert de 5 puntos, según estas opciones: Nunca / Raramente /A veces / Frecuentemente /Siempre o casi siempre		

ANEXO 9. PRUEBAS DE CONOCIMIENTOS SOBRE DISEÑO GRÁFICO 2D-3D

NOTA ACLARATORIA
1. Al contestar estos cuestionarios, participas en una de investigación científica de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), en la que queremos conocer mejor una de las teorías más importantes sobre la motivación en la educación, que se llama la Teoría Flow. 2. Con ello, queremos conseguir que las personas aprendan más, de forma más divertida y agradable, de ahí su importancia para la humanidad. 3. La participación en el proceso es totalmente anónima (nadie sabrá quién eres) y voluntaria (participas si quieres). 4. Con estos datos, se llevará a cabo una tesis doctoral en Ciencias de la Computación y sólo se usarán con ese fin. 5. El investigador principal es el maestro D. David Antonio Rosas Espín, con DNI [redacted] y móvil de contacto [redacted]. Las consultas por e-mail deben dirigirse a research.admin@unir.net. Agradecemos mucho tu colaboración desinteresada.

INSTRUCCIONES	
PON TU NOMBRE EN CLAVE, POR FAVOR:	
La primera letra del nombre de mi **abuelo materno** (A, B, C, etc.) es	
La primera letra del nombre de mi **abuela materna** es (A, B, C, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **madre** es el (1, 2, 3, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **padre** es el (1, 2, 3, etc.)	
¿Qué número de orden ocupas entre tus hermanos/as si tienes (1º, 2º, 3º, etc.)	

- Para las preguntas que hay a continuación, rodea con un círculo la opción "a", "b", "c" o "d", señalando así **la más correcta** de todas las respuestas
- También hay una pregunta práctica al final, que se hace con el ordenador
- Tienes 15 minutos en total para hacer toda la prueba
- Si no sabes responder alguna pregunta o prueba, puedes dejarla en blanco

1. ¿Cuál de estos programas permiten utilizar capas?

a) Paint
b) Fireworks 4
c) Ninguno de ellos

2. ¿Qué herramienta de Fireworks 4 permite hacer recortes?

a) La pluma
b) La goma
c) El lazo

3. ¿Qué lienzo usarías para componer imágenes para Internet?

a) Uno que tenga 30 píxeles por pulgada
b) Uno que tenga 50 píxeles por pulgada
c) Uno que tenga 150 píxeles por pulgada

4. Cuando está seleccionado el "punto rojo" y pegamos un recorte en Fireworks 4…

a) Se pega en otra capa distinta
b) No se puede pegar la selección
c) Se pega sobre la misma imagen

5. Las capas en Fireworks 4…

a) Permiten superponer unas imágenes a otras
b) No se pueden Mover
c) No se pueden Eliminar

6. ¿Qué podemos decir sobre los punteros en Fireworks 4?

a) El puntero blanco permite modificar un trazado que estaba agrupado sin cambiar los otros
b) El puntero blanco permite editar los tiradores de un trazado
c) Las respuestas A y B son correctas

7. PRUEBA PRÁCTICA: se responde con el portátil habitual y Fireworks 4 (10 minutos)

- Abre un lienzo con 150 píxeles por pulgada de resolución
- Pon como fondo una imagen de la Alhambra de Granada de día y hazla parecer muy oscura
- Escribe encima un letrero que diga "La Alhambra de Granada" con fuente Arial de color blanco y letras grandes, que vaya siguiendo una línea recta
- Dibuja junto a las letras una media luna amarilla combinando 2 círculos que se corten

8. ¿Cómo accederemos a Roblox Studio en clase?

a) Siempre desde Roblox Player
b) Con el usuario y contraseña que usamos en casa para jugar a Roblox (si tenemos ya uno)
c) Abriendo un archivo de Roblox Studio desde nuestra carpeta de trabajo

9. ¿Cómo debemos incorporar una construcción a un juego en Roblox Studio?

a) Preferiblemente, componiéndola a partir de bloques
b) Preferiblemente, la arrastramos al escenario desde nuestra carpeta de trabajo
c) Las respuestas A y B son correctas

10. ¿Qué es un NPC en Roblox?

a) Nuestro personaje en un juego
b) Un personaje controlado por el sistema
c) Un personaje que No Puedes Cambiar (NPC)

11. Si anclamos un bloque en Roblox Studio….

a) No lo podremos arrastrar en modo de diseño
b) Lo puede arrastrar un personaje del juego
c) Si lo toca un personaje en el modo de juego no se cae

12. ¿Para qué sirve la tecla F en Roblox Estudio?

a) Para enfocar una pieza
b) Para agrandar una pieza
c) Para fundir una pieza con otras

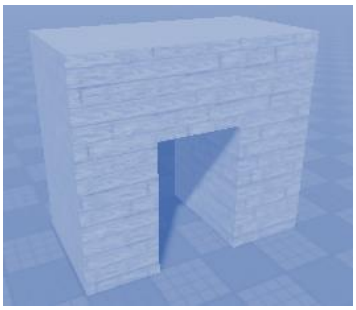
13. ¿Qué tipos de bloques podemos usar para construir en Roblox Studio?

a) Pirámides y Conos
b) Cubos, Esferas, Cilindros y Cuñas
c) Estrellas y Pirámides

14. PRUEBA PRÁCTICA: se responde con el portátil y Roblox Studio (10 minutos)

Diseña una pieza como la de la imagen, pero:

- Solo puedes usar dos bloques como máximo para componerla
- Tiene que ser más grande que un personaje del juego
- Tiene que permanecer en el aire cuando se inicie el juego



ANEXO 10. PRUEBAS DE CONOCIMIENTOS DE ROBÓTICA EDUCATIVA.

NOTA ACLARATORIA
1. Al contestar estos cuestionarios, participas en una de investigación científica de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), en la que queremos conocer mejor una de las teorías más importantes sobre la motivación en la educación, que se llama la Teoría Flow. 2. Con ello, queremos conseguir que las personas aprendan más, de forma más divertida y agradable, de ahí su importancia para la humanidad. 3. La participación en el proceso es totalmente anónima (nadie sabrá quién eres) y voluntaria (participas si quieres). 4. Con estos datos, se llevará a cabo una tesis doctoral en Ciencias de la Computación y sólo se usarán con ese fin. 5. El investigador principal es el maestro D. David Antonio Rosas Espín, con DNI [redacted] y móvil de contacto [redacted]. Las consultas por e-mail deben dirigirse a research.admin@unir.net. Agradecemos mucho tu colaboración desinteresada.

INSTRUCCIONES	
PON TU NOMBRE EN CLAVE, POR FAVOR:	
La primera letra del nombre de mi **abuelo materno** (A, B, C, etc.) es	
La primera letra del nombre de mi **abuela materna** es (A, B, C, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **madre** es el (1, 2, 3, etc.)	
El día del mes en que cumple años mi **padre** es el (1, 2, 3, etc.)	
¿Qué número de orden ocupas entre tus hermanos/as si tienes (1o, 2o, 3o, etc.)	

- Para las preguntas que hay a continuación, rodea con un círculo la opción "a", "b", "c" o "d", señalando así **la más correcta** de todas las respuestas
- También hay una pregunta práctica al final, que se hace con el ordenador
- Si no sabes responder alguna pregunta o prueba, puedes dejarla en blanco
- Tienes 15 minutos en total para hacer toda la prueba

1. ¿Qué son los dispositivos en mBlock5?

d) Personajes que aparecen en el escenario de un juego
e) Robots programables que no aparecen en el escenario de un juego
f) El aspecto que tienen los personajes de un juego

2. ¿Qué son las variables en mBlock5?

d) Son piezas que hacen variar el color de un personaje por sí mismas
e) Son piezas que nunca debe tener un juego
f) Son piezas a las que ponemos nombre para almacenar en ellas números y letras

3. ¿A qué pin de Arduino conectarías un LED para darle varios niveles de brillo?

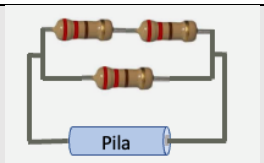
d) A un pin "ANALOG" que lleva una A
e) A un pin "DIGITAL" que lleve el símbolo ~
f) A un pin "DIGITAL" que NO lleve el símbolo ~

4. ¿Cuántos cables tiene un servo?

d) Uno
e) Dos

f) Tres

5. Observa el circuito de la derecha. Si las tres resistencias son iguales…



d) Pasará más corriente por donde hay una resistencia
e) Pasará más corriente por donde hay dos resistencias
f) Se calentará menos la resistencia que está sola

6. ¿Qué es una placa protoboard?

a) Es una placa para conectar sensores que se enchufa directamente a una placa Arduino
b) Es una placa que realiza cálculos protozoicos
c) Una tableta agujereada en la que podemos montar y desmontar circuitos de prueba fácilmente

7. PRUEBA PRÁCTICA: usa un portátil ya conectado a Arduino Uno (10 minutos)

- Abre mBlock5
- Añade un dispositivo Arduino a tu programa
- Añade un personaje sobre el escenario de tu programa
- Conecta Arduino "en vivo" a tu ordenador con mBlock5
- Haz que el LED junto al pin 13 de Arduino se encienda y apague 5 veces al pulsar bandera verde
- Haz que el personaje se mueva a la derecha al pulsar una tecla

ANEXO 11. NOMENCLATURA DE LOS PARÁMETROS EXTRAÍDOS POR KUBIOS Y SU SIGNIFICADO FISIOLÓGICO.

En la siguiente tabla, adjuntamos una traducción comentada del manual del usuario de Kubios (https://www.kubios.com/downloads/Kubios_HRV_Users_Guide.pdf), donde aparecen los parámetros de Variabilidad del Ritmo Cardiaco (HRV). Mantenemos la misma nomenclatura en las tablas de correlaciones rho de Spearman encontradas entre estos parámetros con las dimensiones de las escalas EduFlow y FKS, que aparecen en los anexos 13 al 18.

PARÁMETROS (UNIDADES DE MEDIDA)	**DESCRIPCIÓN** [REFERENCIAS DE KUBIOS]	**ACTIVIDAD CON LA QUE SE RELACIONA** (Dabiré et al., 1998; Shaffer, McCraty & Zerr, 2014; Seppälä et al., 2014; Naranjo et al., 2015)
ESTADO GENERAL		
Stress index (N/A)	Raíz cuadrada del índice de estrés de Baevsky [2]	No se cita
PNS index (N/A)	Actividad del Sistema Nervioso Parasimpático comparada con valores normales en reposo	No se cita
SNS index (N/A)	Actividad del Sistema Nervioso Simpático comparada con valores normales en reposo	No se cita
DOMINIO DE LOS TIEMPOS		
$\overline{\boldsymbol{RR}}$ (ms)	Media de los intervalos RR	***Parasimpática***
STD RR – SDNN (ms)	Desviación estándar de los intervalos RR	***Parasimpática***
$\overline{\boldsymbol{HR}}$ (1/min)	Media del ritmo cardiaco	***Simpática***
STD HR (1/min)	Desviación estándar de los valores instantáneos del ritmo cardiaco	***Parasimpática***
Min & Max HR (1/min)	Mínimo y máximo de HR usando una media móvil de N latidos (N = 5 por defecto)	***Simpática***
RMSSD (ms)	Raíz cuadrada de la raíz de las diferencias al cuadrado entre intervalos RR sucesivos	***Parasimpática***

NNxx (latidos)	Número de pares sucesivos de intervalos RR que difieren en más de xx ms (por defecto, xx =50)	***Parasimpática***
pNNxx (%)	NNxx dividido entre el total de intervalos RR	***Parasimpática***
HRV triangular index (N/A)	Integral del histograma de intervalos RR entre la altura del histograma [30]	***Parasimpática***
TINN (ms)	Anchura del histograma de intervalos RR [30]	***Parasimpática***
DC** (ms)	Capacidad de deceleración de HR [3/21]	***Parasimpática***
AC** (ms)	Capacidad de Aceleración de HR [3/21]	***Simpática***
SDANN (ms)	Desviación Estándar de las medias de intervalos RR en fragmentos de 5 minutos [30]	***Parasimpática***
SDNNI (ms)	Media de las desviaciones estándar de intervalos RR en fragmentos de 5 minutos [30]	***Parasimpática***
DOMINIO DE LAS FRECUENCIAS		
Spectrum (Hz)	Periograma de Welch y estimados del espectro AR	Según banda de frecuencia
HF (Hz)	Banda de alta frecuencia de las ondas espectrales AR (0.15- 0.4Hz).	La potencia de la banda HF se produce por la actividad ***parasimpática*** o vagal debida a la respiración. Personas con ansiedad, pánico o estrés tienen este parámetro reducido
LF (Hz)	Banda de baja frecuencia de las ondas espectrales AR (0.04 - 0.15 Hz).	Actividad ***simpática***, vagal y de mecanismos barorreceptores, en función del contexto
VLF (Hz)	Banda de muy baja frecuencia de las ondas espectrales AR (0.0033 -0.04 Hz)	Mecanismos a largo plazo de termorregulación, el sistema renina-angiotensina y

		factores hormonales.
Peak frecuency (ms^2)	Frecuencias pico de las bandas espectrales VLF, LF y HF	Ya dicho
Absolute power (ms^2)	Potencia absoluta de las bandas espectrales VLF, LF y HF	Ya dicho
Absolute power (log)	Logaritmo natural de la potencia absoluta de las bandas espectrales VLF, LF y HF	Ya dicho
Relative power (%)	Potencia relativa entre las bandas espectrales VLF, LF y HF, respecto de la potencia total espectral	Ya dicho
Normalized power (n.u)	Potencia de las bandas LH y HF en valores normalizados	Ya dicho
LF (n.u)	LF (n.u) = LF [ms^2]/(Potencia total[ms^2]-VLF[ms^2])	Ya dicho
HF (n.u)	HF (n.u) = HF [ms^2]/(Potencia total[ms^2]-VLF[ms^2])	Ya dicho
LF/HF (N/A)	Relación entre las potencias de las bandas LF y HF	Con muchos matices, ***simpática/ parasimpática***
RESP**	Índice de respiración calculado con un algoritmo propietario de Kubios que calcula de electrocardiograma y datos RR	No se cita
DOMINIO NO LINEAL		
SD1 (ms)	En un gráfico de Poincaré, la desviación estándar perpendicular a la línea de identidad [5, 6]	***Parasimpática***
SD2 (ms)	En un gráfico de Poincaré, la desviación estándar paralela a la línea de identidad	***Simpática***
SD2/SD1 (N/A)	Ratio entre SD2 y SD1	***Parasimpática/ Simpática***
ApEn (N/A)	Entropía aproximada [26, 9]	-
SampEn (N/A)	Entropía de la muestra [26]	-
DFA, α_1 (N/A)	En un Análisis de Fluctuación Detendenciado, la pendiente del término de fluctuación corto [23, 24]	***Parasimpática***

DFA, α_2 (N/A)	En un Análisis de Fluctuación Detendenciado, la pendiente del término de fluctuación largo	***Simpática***
D_2** (N/A)	Dimensión de correlación [11,12]	***Parasimpática***
RPA**	Análisis del gráfico de recurrencia [3, 8, 33]	
Lmean	Longitud de la línea media	***Simpática***
Lmax	Longitud máxima de la línea media	***Simpática***
*Variación temporal***		

[REFERENCIAS CITADAS EN EL MANUAL DE KUBIOS]

[2] Baevsky, R. M., & Berseneva, A. P. (2008). Methodical recommendations use kardivar system for determination of the stress level and estimation of the body adaptability standards of measurements and physiological interpretation.

[3] Bauer, A., Kantelhardt, J. W., Barthel, P., Schneider, R., Mäkikallio, T., Ulm, K., Hnatkova, K., Schömig, A., Huikuri, H., Bunde, A., Malik, M., & Schmidt, G. (2006). Deceleration capacity of heart rate as a predictor of mortality after myocardial infarction: Cohort study. *The Lancet*, *367*(9523), 1674-1681. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68735-7

[5] Brennan, M., Palaniswami, M., & Kamen, P. (2001). Do existing measures of Poincare plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *48*(11), 1342-1347. https://doi.org/10.1109/10.959330

[6] Carrasco, M. J. G., R. González, O. Yánez, S. (2001). Correlation among Poincare´plot indexes and time and frequency domain measures of heart rate variability. *Journal of Medical Engineering & Technology*, *25*(6), 240-248. https://doi.org/10.1080/03091900110086651

[8] Dabiré, H., Mestivier, D., Jarnet, J., Safar, M. E., & Chau, N. P. (1998). Quantification of sympathetic and parasympathetic tones by nonlinear indexes in normotensive rats. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, *275*(4), H1290-H1297. https://doi.org/10.1152/ajpheart.1998.275.4.H1290

[9] Fusheng, Y., Bo, H., & Qingyu, T. (2000). Approximate Entropy and Its Application to Biosignal Analysis. En *Nonlinear Biomedical Signal Processing* (pp. 72-91). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1109/9780470545379.ch3

[11] Guzzetti, S., Signorini, M. G., Cogliati, C., Mezzetti, S., Porta, A., Cerutti, S., & Malliani, A. (1996). Non-linear dynamics and chaotic indices in heart rate variability of normal subjects and heart-transplanted patients. *Cardiovascular Research*, *31*(3), 441-446. https://doi.org/10.1016/S0008-6363(95)00159-X

[12] Henry, B., Lovell, N., & Camacho, F. (2000). Nonlinear Dynamics Time Series Analysis. En *Nonlinear Biomedical Signal Processing* (pp. 1-39). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1109/9780470545379.ch1

[21] Nasario-Junior, O., Benchimol-Barbosa, P. R., & Nadal, J. (2014). Refining the deceleration capacity index in phase-rectified signal averaging to assess physical conditioning level. *Journal of Electrocardiology*, *47*(3), 306-310. https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2013.12.006

[23] Peng, C. -K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1995). Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *5*(1), 82-87. https://doi.org/10.1063/1.166141

[24] Penzel, T., Kantelhardt, J. W., Grote, L., Peter, J. H., & Bunde, A. (2003). Comparison of detrended fluctuation analysis and spectral analysis for heart rate variability in sleep and sleep apnea. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *50*(10), 1143-1151. https://doi.org/10.1109/TBME.2003.817636

[26] J Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and*

Circulatory Physiology, *278*(6), H2039-H2049. https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039

[30] Task force of the European society of cardiology and the North American society of pacing and electrophysiology. (1996). Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5):1043–1065, March https://dx.doi.org/10.1161/01.CIR.93.5.1043

[31] Webber, C. L., & Zbilut, J. P. (1994). Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies. *Journal of Applied Physiology*, *76*(2), 965-973. https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.2.965

[33] Zbilut, J. P., Thomasson, N., & Webber, C. L. (2002). Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals. *Medical Engineering & Physics*, *24*(1), 53-60. https://doi.org/10.1016/S1350-4533(01)00112-6

ANEXO 12. CONFIGURACIÓN DE KUBIOS.

En las siguientes tablas, presentamos la configuración de los parámetros de Kubios. Esta es común a todos los análisis de los datos recogidos por las bandas Polar H10 en las tarjetas SD de los relojes inteligentes, gracias a la librería Polar SDK.

PRM# Detrending	**PRM# InterpRate**	**PRM# MinMaxHR**	**PRM# NNxxThreshold**	**PRM# VLFband**	**PRM# LFband**	**PRM# HFband**
Smoothn priors (500)	4.00 Hz	5 beats MA	50 ms	0.00-0.04 Hz	0.04-0.15 Hz	0.15-0.40 Hz

PRM# FreqPoints	**PRM# FFTorLomb**	**PRM# WelchWindow**	**PRM# LombWindow**	**PRM# ARspectrum**	**PRM# Entropy**
300 points/Hz	FFT	300 s (50%)	0.020 Hz	p=16(no factorization)	m=2 (r=0.20SD)

PRM# DFAshortterm	**PRM# DFAlongterm**	**PRM# RecurrencePlot**	**PRM# NbrSamples**	**PRM# BeatCorrection**
4-12 beats	13-64 beats	m=10 (r=3.162)	5	Automatic correction (0.3)

ANEXO 13. CORRELACIONES RHO DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE ESCALA EDUFLOW Y SUS DIMENSIONES CON LOS PARÁMETROS HRV PARA TODAS LAS SESIONES DE LOS GRUPOS DE CONTROL TRAS LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1).

La siguiente tabla puede consultarse en https://acortar.link/Ya8X9C

Debido a sus dimensiones, aquí la adjuntamos segmentada.

		S1_PNSindex	S1_SNSindex	S1_Stressindex	S1_MeanRRms	S1_SDNNms	S1_MeanHRbpm	S1_SDHRbpm	S1_MinHRbpm	S1_MaxHRbpm	S1_RMSSDms	S1_NNxxbeats	S1_pNNxx	S1_HRVtriangularindex	S1_TINNms
D1	Coeficiente de correlación	,258**	-,291**	-,273**	,298**	,242*	-,298**	0.076	-,319**	-,271**	,225*	,227*	,250**	,274**	,253**
	Sig. (bilateral)	0.002	0.001	0.002	0.001	0.006	0.001	0.381	0.000	0.002	0.011	0.011	0.004	0.002	0.004
	N	135	135	132	126	126	126	135	126	126	126	126	128	129	126
D2	Coeficiente de correlación	0.132	-,179*	-0.104	,231**	0.098	-,231**	-0.151	-,229**	-,259**	0.103	0.101	0.129	0.121	0.082
	Sig. (bilateral)	0.125	0.036	0.230	0.009	0.271	0.009	0.079	0.010	0.003	0.251	0.259	0.144	0.170	0.361
	N	137	137	134	127	127	127	136	127	127	127	127	129	130	127
D3	Coeficiente de correlación	0.071	-0.107	-0.080	0.137	0.056	-0.137	-0.127	-0.166	-,180*	0.061	0.004	0.056	0.038	0.047
	Sig. (bilateral)	0.414	0.218	0.362	0.128	0.538	0.128	0.143	0.064	0.045	0.496	0.969	0.528	0.671	0.605
	N	135	135	132	125	125	125	134	125	125	125	125	127	128	125
D4	Coeficiente de correlación	-0.073	0.021	0.084	0.087	-0.070	-0.087	-,307**	-0.073	-0.136	-0.071	-0.070	-0.050	-0.052	-0.070
	Sig. (bilateral)	0.399	0.806	0.335	0.335	0.438	0.335	0.000	0.417	0.129	0.427	0.437	0.573	0.556	0.439
	N	136	136	133	126	126	126	135	126	126	126	126	128	129	126
Edu low	Coeficiente de correlación	0.142	-,185*	-0.152	,238**	0.136	-,238**	-0.118	-,262**	-,247**	0.125	0.101	0.135	0.149	0.130
	Sig. (bilateral)	0.108	0.035	0.089	0.009	0.137	0.009	0.182	0.004	0.006	0.172	0.272	0.138	0.098	0.156
	N	130	130	127	121	121	121	130	121	121	121	121	123	124	121

	S1_DCmodms	S1_ACmodms	S1_VLFpow_FFTms2	S1_LFpow_FFTms2	S1_VLFpow_FFTlog	S1_LFpow_FFTlog	S1_HFpow_FFTlog	S1_VLFpow_FFT	S1_TOTpow_FFTms2	S1_LF_HF_ratio_FFT	S1_HFpeak_ARHz	S1_VLFpow_ARms2	S1_LFpow_ARms2	S1_VLFpow_ARlog	S1_LFpow_ARlog
D1	,210*	-,217*	,265**	,236**	,247**	,227**	0.138	0.141	,222*	0.027	0.152	,297**	,280**	,308**	,289**
	0.018	0.015	0.003	0.008	0.004	0.008	0.111	0.103	0.013	0.755	0.079	0.001	0.001	0.000	0.001
	126	126	126	126	135	135	135	135	126	135	135	126	126	135	135
D2	0.092	-0.109	0.100	0.099	0.104	0.076	0.008	0.091	0.091	0.080	0.076	0.103	0.127	0.097	0.122
	0.304	0.223	0.266	0.268	0.227	0.381	0.928	0.291	0.309	0.355	0.379	0.251	0.154	0.258	0.156
	127	127	127	127	137	137	137	137	127	137	137	127	127	137	137
D3	0.058	-0.055	0.116	0.023	0.093	0.013	0.014	0.112	0.063	-0.007	,227**	0.095	0.046	0.097	0.053
	0.519	0.542	0.199	0.802	0.284	0.879	0.876	0.194	0.487	0.939	0.008	0.292	0.611	0.263	0.542
	125	125	125	125	135	135	135	135	125	135	135	125	125	135	135
D4	-0.078	0.065	0.057	-0.056	0.019	-0.113	-,185*	,243**	-0.058	,179*	0.096	-0.050	-0.029	-0.086	-0.070
	0.388	0.472	0.526	0.532	0.830	0.189	0.031	0.004	0.515	0.037	0.266	0.579	0.745	0.319	0.421
	126	126	126	126	136	136	136	136	126	136	136	126	126	136	136
Edu low	0.118	-0.124	,221*	0.134	,187*	0.102	0.019	,207*	0.134	0.081	,174*	0.172	0.172	0.156	0.160
	0.198	0.177	0.015	0.143	0.033	0.248	0.829	0.018	0.142	0.361	0.047	0.059	0.059	0.075	0.069
	121	121	121	121	130	130	130	130	121	130	130	121	121	130	130

	S1_HFpow_ARlog	S1_LFpow_AR	S1_HFpow_ARn.u	S1_TOTpow_ARms2	S1_LF_HF_ratio_AR	S1_RESPHz	S1_SD1ms	S1_SD2ms	S1_D2	S1_DFA2	Sig 0,05	sig 0,01	Total
D1	0.150	0.040	-0.05(	,246**	0.053	,209*	,224*	,251**	-0.023	-0.003			
	0.083	0.655	0.57(	0.005	0.540	0.015	0.012	0.005	0.795	0.974	7	21	28
	135	126	12(	126	135	135	126	126	135	135			
D2	0.020	0.085	-0.07(	0.105	0.092	,215*	0.103	0.095	,238**	-,184*			
	0.815	0.340	0.37(	0.238	0.287	0.012	0.250	0.288	0.005	0.031	3	5	8
	137	127	12	127	137	137	127	127	137	137			
D3	0.003	-0.036	0.01(	0.067	0.034	-0.007	0.062	0.049	0.164	-0.012			
	0.973	0.690	0.86	0.458	0.693	0.934	0.493	0.584	0.057	0.891	1	1	2
	135	125	12(	125	135	135	125	125	135	135			
D4	-,196*	,178*	-,175	-0.062	,216*	0.150	-0.072	-0.071	0.147	0.033			
	0.022	0.046	0.05(	0.488	0.011	0.081	0.424	0.432	0.087	0.706	6	2	8
	136	126	12(	126	136	136	126	126	136	136			
Edu Flow	0.023	0.076	-0.08(	0.146	0.113	0.160	0.125	0.138	,187*	-0.072			
	0.794	0.406	0.38	0.109	0.202	0.068	0.173	0.130	0.033	0.414	6	4	10
	130	121	12	121	130	130	121	121	130	130			

ANEXO 14. RESUMEN DE LA TABLA DEL ANEXO C, EN DONDE SE HAN DADO CORRELACIONES ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS, SEPARADOS POR DIMENSIONES, PARA LA ESCALA EDUFLOW.

En la tabla siguiente, identificamos el código de la variable HRV con la que hay correlación estadísticamente significativa con dimensiones de la escala EduFlow, como se recoge en el anexo X. Después, el coeficiente de correlación de Spearman, su signo, el nivel de significancia (Alfa) y con qué tipo de actividad (SNS o SNP) se asocia el parámetro HRV indicado. Después, la **coherencia de signo intraescala** y **con otras dimensiones de la escala EduFlow**.

Para **determinar si hay coherencia de signo intraescala**, se sigue un procedimiento arbitrario y recurrente. Para ello, comenzamos observando de una dimensión de la Escala EduFlow (D1, D2, D3 o D4), el signo de la primera correlación estadísticamente significativa que encontremos en la tabla con un parámetro HRV. A partir de entonces, se asigna arbitrariamente ese signo a la actividad del SNS o del SNP que refleje. Por ejemplo, en la escala Eduflow, la correlación con SNSIndex es negativa (-), luego el signo para las variables que indiquen actividad del SNS tendían que tener todas signo negativo, y las del SNP, positivo. A continuación, se va comparando, dentro de la dimensión elegida, con el resto de correlaciones. Si los signos son coincidentes, decimos que hay coherencia, en caso contrario, decimos que no hay coherencia. Se puede comprobar que existe coherencia intraescala en todas las dimensiones de la escala EduFlow con los parámetros fisiológicos donde hay correlaciones (excepto en SD2ms).

También determinamos si **hay coherencia de signo entre dimensiones de la escala EduFlow**. Para ello, tomamos los criterios de signo obtenidos para la suma de la escala EduFlos: SNS (-) y SNP (+). Vemos que se mantiene la coherencia de signo para la suma EduFlow, D1, D2 y D3, pero esos criterios estarían invertidos con respecto a la dimensión en D4.

ESCALA EDUFLOW x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
SNSIndex	-	0.185	0.05	SNS	SI	D1, D2
MeanRRms	+	0.238	0.01	SNP	SI (1/HR)	D1, D2
MeanHRbpm	-	0.238	0.01	SNS	SI	D1, EduFlow
MinHRbpm	-	0.262	0.01	SNS	SI	D1, D2
MaxHRbpm	-	0.247	0.01	SNS	SI	D1, D2, D3
VLFpow_FFTms2	+	0.221	0.05	T-H	N/A	D1
VLFpowFFTlog	+	0.187	0.05	T-H	N/A	D1
HFpeakARHz	+	0.174	0.05	SNP	SI	D3

D2	+	0.187	0.05	SNP	SI	D2
D1 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
PNSindex	+	0.258	0.01	SNP	SI	Caso único
SNSIndex	-	0.291	0.01	SNS	SI	D2, EduFlow
Stressindex	-	0.273	0.01	SNS	SI	Caso único
MeanRRms	+	0.298	0.01	SNP	SI	D2, EduFow
SDNNms	+	0.249	0.01	SNP	SI	Caso único
MeanHRbpm	-	0.298	0.01	SNS	SI	D4, EduFlow
MinHRbpm	-	0.319	0.01	SNS	SI	D2 y
MaxHRbpm	-	0.271	0.01	SNS	SI	D2, D3, EduFlow
RMSSDms	+	0.225	0.05	SNP	SI	Caso único
NNxxbeats	+	0.227	0.05	SNP	SI	Caso único
pNNxx	+	0.25	0.01	SNP	SI	Caso único
HRVtriangularIndex	+	0.247	0.01	SNP	SI	Caso único
TINNSms	+	0.253	0.01	SNP	SI	Caso único
DCmodms	+	0.21	0.05	SNP	SI	Caso único
ACmodms	-	0.217	0.05	SNS	SI	Caso único
VLFpow_FFTms2	+	0.265	0.01	T-H	SI	EduFlow
LFpow_FFTms2	+	0.236	0.01	P	SI	Caso único
VLFpowFFTIog	+	0.247	0.01	TH	N/A	EduFlow
LFpowFFTlog	+	0.227	0.01	SNP	SI	Caso único
TOTpowFFTms2	+	0.222	0.05	SNP	SI	Caso único
VLFpow_ARms	+	0.297	0.01	T-H	N/A	Caso único
LFpowARms	+	0.28	0.01	SNP	SI	Caso único
VLFpowARlog	+	0.308	0.01	T-H	N/A	Caso único
LFpowARlog	+	0.289	0.01	SNP	SI	Caso único
TOTpowARms2	+	0.246	0.01	SNP	SI	Caso único
RESPHz	+	0.209	0.05	R	SI	D2
SD1ms	+	0.224	0.05	SNP	SI	Caso único
SD2ms	*+*	*0.251*	*0.01*	*SNS*	***NO***	*Caso único*
D3 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	

Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
MaxHRbpm	-	0.180	0.05	SNS	SI	D1, D2, Eduflow
HFpeakARz	+	0.227	0.01	SNP	SI	EduFlow
D2 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
SNSIndex	-	0.179	0.05	SNS	SI	D1, EduFlow
MeanRRms	+	0.231	0.01	SNP	SI	D1, EduFlow
MinHRbpm	-	0.229	0.01	SNS	SI	D1, EduFlow
MaxHRbpm	-	0.259	0.01	SNS	SI	D1, D3, EduFlow
RESPHz	+	0.215	0.05	R	SI	D1
D2	+	0.238	0.01	SNP	SI	EduFlow
DFA2	-	0.184	0.05	SNS	SI	Caso único
D4 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
SDHRbpm	-	0.307	0.01	SNP	SI*	Caso único
HFpwFFTlog	-	0.185	0.05	SNP	SI*	Caso único
VLFpowFFT	+	0.243	0.01	T-H	N/A	Caso único
LF_HFratioFFT	+	0.179	0.05	SNS/SNP	SI*	Caso único
HFpow_Arlog	-	0.196	0.05	SNP	SI*	Caso único
LFpow_AR	+	0.178	0.05	SNP	SI*	Caso único
HFpow_Arn.u	-	0.175	0.05	SNP	SI*	Caso único
LF_HF_ratio_AR	+	0.216	0.05	SNS/SNP	SI*	Caso único
*No habría coherencia, si tomamos como criterio de signos los que tendríamos en EduFlow, D1, D2 y D3, pero sí intradimensional						

ANEXO 15. RESUMEN DE LA TABLA DEL ANEXO 13, EN DONDE SE HAN DADO CORRELACIONES ESTADÍSTICAMENTE SIGNIFICATIVAS, SEPARADOS POR DIMENSIONES, PARA LA ESCALA FKS.

En la tabla siguiente, identificamos el código de la variable HRV con la que hay correlación estadísticamente significativa con dimensiones de la escala FKS, como se recoge en el anexo X. Después, el Coeficiente de correlación de Spearman, su signo, el nivel de significancia (Alfa) y con qué tipo de actividad (SNS o SNP) se asocia el parámetro HRV indicado. Después, la **coherencia de signo intraescala** y **con otras dimensiones de la escala FKS**.

Para **determinar si hay coherencia de signo <u>intraescala</u>**, se sigue un procedimiento arbitrario y recurrente. Para ello, comenzamos observando de una dimensión de la Escala FKS (A1-Challenge, A2-Skills, A3-Balance, F1-Absortamiento, F2-Linealidad-del-deseño-instruccional, F3-importancia-dada-la-tarea o Suma de la Escala), el signo de la primera correlación estadísticamente significativa que encontremos en la tabla con un parámetro HRV. A partir de entonces, se asigna arbitrariamente ese signo a la actividad del SNS o del SNP que refleje. Por ejemplo, en la escala FKS, la correlación con D2 es positiva (+), luego el signo para las variables que indiquen actividad del SNS tendían que tener todas signo positivo, y las del SNP, negativo. A continuación, se va comparando, dentro de la dimensión elegida, con el resto de correlaciones. Si los signos son coincidentes, decimos que hay coherencia, en caso contrario, decimos que no hay coherencia. Se puede comprobar que existe coherencia intraescala en todas las dimensiones de la escala EduFlow con los parámetros fisiológicos donde hay correlaciones (excepto en HFPowARlog). Cuando no sea de aplicación asignar a actividad simpática/parasimpática una actividad, por ejemplo, en VLF, se asigna termorregulación-hormonal (TH), y cuando no sea de aplicación o no esté claro, se añade N/A.

También determinamos si **hay coherencia de signo <u>entre dimensiones</u> de la escala FKS**. Procedemos del mismo modo que con la escala EduFlow en el anexo 14.

ESCALA FKS x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones FKS
RespHZ	+	.180	.05	N/A	N/A	A1, A3 (-); F2, A2 (+)
ApEn	+	.205	.05	N/A	N/A	F2 (+)
D2	+	.332	.01	Simpática	SI	F1, F2, F3, A2 (+)

F1 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones FKS
D2	+	.284	.01	Simpática	SI	F2, F3, SumaFKS, A2 (+)
F2 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones FKS
RespHZ	+	.192	.05	N/A	N/A	A1, A3 (-) A2, SumaFKS (+)
ApEn	+	.208	.05	N/A	N/A	SumaFKS (+)
D2	+	.268	.01	Simpática	SI	A2, F1,F3, SumaFKS (+)
F3 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
D2	+	.279	.01	Simpática	SI	A2, F1, F2, SumaFKS (+)
A1 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
LFPowARlog	+	.172	.05	Simpática	SI	Caso único
HFPowARlog	+	.202	.05	Parasimpática	NO	Caso único

VLFpowAR	-	.181	.05	TH	N/A	Caso único
TOTpowARms2	+	.208	.05	N/A	N/A	Caso único
RESPHz	-	.247	.01	N/A	N/A	A2, F2, SumaFKS (+) A3 (-)
SD2ms	+	.199	.05	Simpática	Sí	Caso único
SampEn	-	.177	.05	N/A	N/A	A2 (+) A3 (-)
DFA2	-	.175	.05	Parasimpática	Sí	Caso único
A2 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
RESPHz	+	.183	.05	N/A	N/A	A1 (-) A3, F2, SumaFKS (+)
SampEn	+	.202	.05	N/A	N/A	A1 (-) A3 (-)
D2	+	.209	.05	Parasimpática	SI	F1, F2,F3, SumaFKS (+)
A3 x HRV						
DATOS					**COHERENCIA**	
Código de variable	Signo	Coef. Spearman sin signo	Alfa	Actividad	Signo/ Actividad	Signo / Dimensiones EduFlow
RESPHz	-	.240	.01	N/A	N/A	A1 (-) A2,F2, SumaEduFlow(+)
SampEn	-	206	.05	N/A	N/A	A1 (-) A2 (+)
RP_LmaxBeat	+	.194	.05	Simpática	SI	Caso único

ANEXO 16. CORRELACIONES RHO DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE ESCALA FKS Y SUS DIMENSIONES CON LOS PARÁMETROS HRV PARA LOS GRUPOS DE CONTROL TRAS LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1).

Por su gran extensión, las siguientes tablas contienen un resumen por grupos de las tablas que pueden encontrarse en https://acortar.link/DKvuV1

GRUPO N5_1

		S1_SDHRbpm	S1_MinHRbpm	S1_MaxHRbpm	S1_TINNms	S1_DCms	S1_LFpeak_FFTHz	S1_LFpeak_ARHz	S1_HFpeak_ARHz	S1_LFpow_ARms2	S1_HFpow_ARms2
A1	Coeficiente de correlación	,218*	-0.136	-0.008	,180*	,249**	,177*	,223**	0.032	,201*	,214*
	Sig. (bilateral)	0.011	0.129	0.929	0.043	0.005	0.039	0.009	0.714	0.024	0.016
	N	135	126	126	126	126	136	136	136	126	126
A2	Coeficiente de correlación	-0.002	-0.138	-,197*	0.076	0.012	-0.117	0.060	-0.003	0.076	0.048
	Sig. (bilateral)	0.983	0.124	0.027	0.402	0.891	0.177	0.489	0.970	0.401	0.598
	N	134	125	125	125	125	135	135	135	125	125
A3	Coeficiente de correlación	0.051	0.034	0.035	-0.011	0.012	-0.067	0.057	-0.050	-0.020	-0.008
	Sig. (bilateral)	0.554	0.703	0.693	0.905	0.895	0.441	0.511	0.563	0.821	0.927
	N	135	126	126	126	126	136	136	136	126	126
F1_ABS	Coeficiente de correlación	-0.025	-,180*	-0.113	0.104	0.065	,257**	0.069	0.130	0.145	0.057
	Sig. (bilateral)	0.776	0.047	0.214	0.254	0.478	0.003	0.432	0.138	0.111	0.530
	N	131	122	122	122	122	132	132	132	122	122
F2_PROGR	Coeficiente de correlación	-0.120	-0.034	-0.010	-0.027	-0.091	,185*	-0.070	0.055	0.001	-0.063
	Sig. (bilateral)	0.177	0.712	0.913	0.769	0.324	0.035	0.427	0.532	0.991	0.497
	N	129	120	120	120	120	130	130	130	120	120
F3_IMP	Coeficiente de correlación	-0.148	-0.072	-0.094	-0.023	-0.007	0.105	-0.011	,207*	-0.040	0.025
	Sig. (bilateral)	0.086	0.424	0.294	0.800	0.940	0.222	0.903	0.016	0.660	0.782
	N	135	126	126	126	126	136	136	136	126	126
SUMAFKS	Coeficiente de correlación	-0.121	-0.069	-0.032	-0.001	-0.026	,227*	0.025	0.097	0.013	-0.001
	Sig. (bilateral)	0.178	0.458	0.735	0.994	0.781	0.010	0.776	0.279	0.892	0.992
	N	126	117	117	117	117	127	127	127	117	117

GRUPO N6_1

		S1_LFpow_ARlog	S1_HFpow_ARlog	S1_VLFpow_AR	S1_TOTpow_ARms2	S1_RESPHz	S1_SD2ms	S1_ApEn	S1_SampEn	S1_D2	S1_DFA2	S1_RP_Lmaxbeats
A1	Coeficiente de correlación	,172*	,202*	-,181*	,208*	-,247**	,199*	-0.111	-,177*	-0.116	-,175*	0.060
	Sig. (bilateral)	0.045	0.018	0.036	0.019	0.004	0.026	0.197	0.039	0.179	0.042	0.507
	N	136	136	134	126	136	126	136	136	136	136	126
A2	Coeficiente de correlación	0.081	0.050	-0.006	0.074	,183*	0.084	0.080	,202*	,209*	-0.095	-0.098
	Sig. (bilateral)	0.350	0.565	0.949	0.411	0.034	0.352	0.357	0.019	0.015	0.275	0.279
	N	135	135	133	125	135	125	135	135	135	135	125
A3	Coeficiente de correlación	-0.018	-0.006	0.143	-0.023	-,240**	-0.021	-0.036	-,206*	-0.023	0.065	,194*
	Sig. (bilateral)	0.839	0.940	0.099	0.797	0.005	0.818	0.680	0.016	0.794	0.451	0.030
	N	136	136	134	126	136	126	136	136	136	136	126
F1_ABS	Coeficiente de correlación	0.148	0.041	0.003	0.126	0.149	0.130	0.122	0.055	,284**	-0.059	-0.036
	Sig. (bilateral)	0.089	0.639	0.974	0.167	0.089	0.154	0.163	0.528	0.001	0.502	0.695
	N	132	132	130	122	132	122	132	132	132	132	122
F2_PROGR	Coeficiente de correlación	0.006	-0.072	0.079	-0.026	,192*	-0.032	,208*	0.038	,268**	0.018	0.055
	Sig. (bilateral)	0.948	0.419	0.375	0.774	0.029	0.727	0.018	0.671	0.002	0.840	0.551
	N	130	130	128	120	130	120	130	130	130	130	120
F3_IMP	Coeficiente de correlación	-0.023	0.003	-0.006	0.003	0.163	-0.019	0.165	0.041	,279**	-0.053	-0.026
	Sig. (bilateral)	0.788	0.972	0.942	0.971	0.058	0.830	0.055	0.639	0.001	0.542	0.772
	N	136	136	134	126	136	126	136	136	136	136	126
SUMAFKS	Coeficiente de correlación	0.017	-0.021	0.040	0.018	,180*	0.004	,205*	0.008	,332**	-0.010	0.000
	Sig. (bilateral)	0.847	0.811	0.656	0.850	0.043	0.968	0.021	0.931	0.000	0.913	1.000
	N	127	127	125	117	127	117	127	127	127	127	117

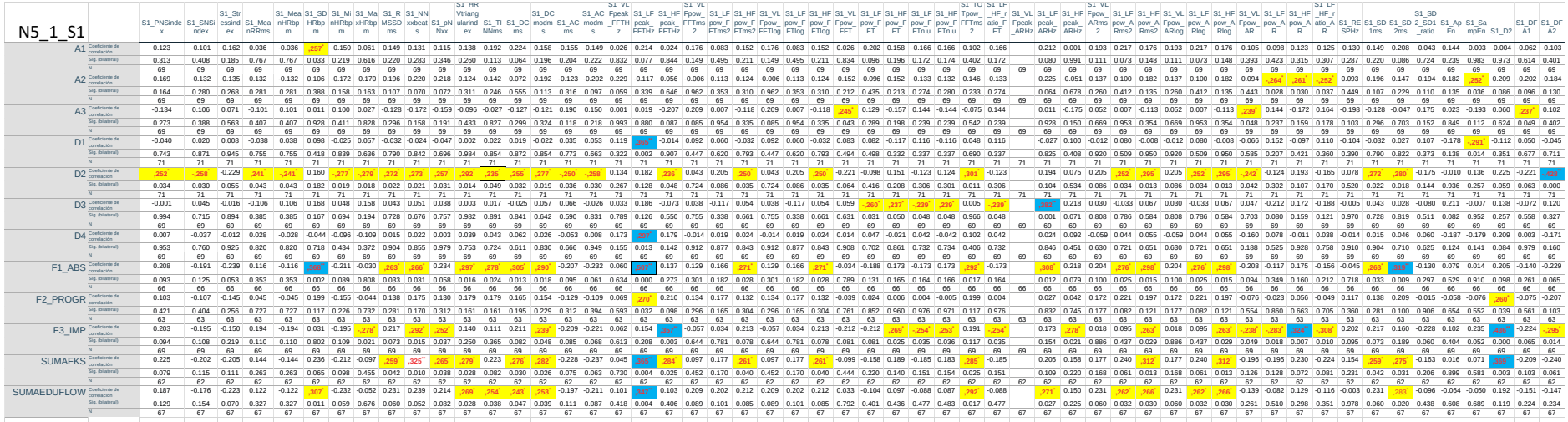
ANEXO 17. MAPAS DE COLOR DE CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DIMENSIONES DE LAS ESCALAS EDUFLOW Y FKS POR TEMÁTICAS STEAM EN LOS GRUPOS DE CONTROL DURANTE LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1).

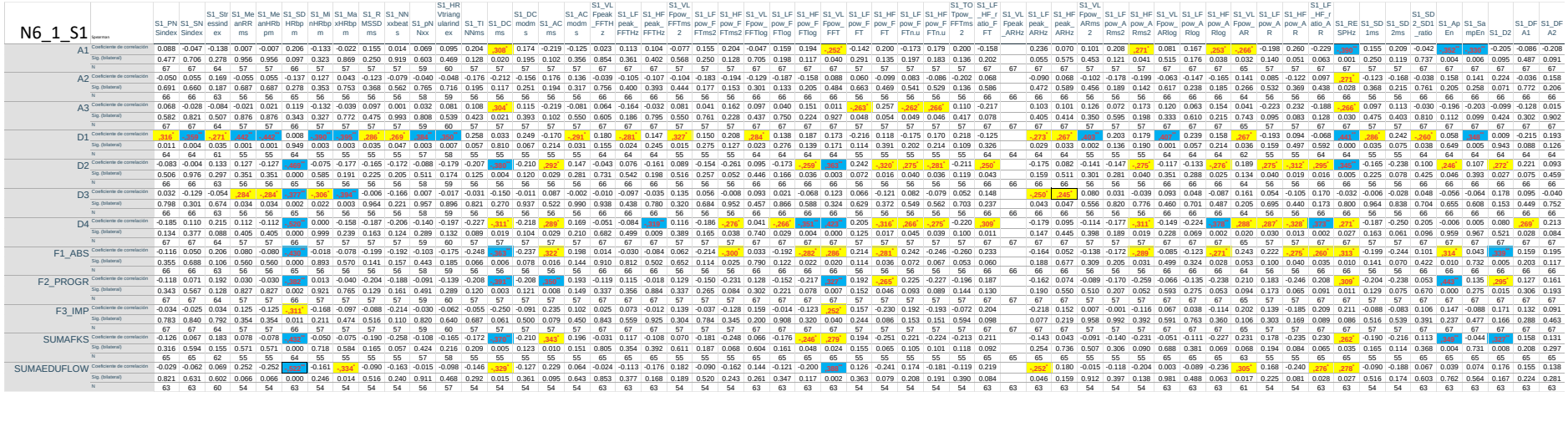
Por su gran extensión, las siguientes tablas contienen un resumen por grupos que puede encontrarse en https://acortar.link/DKvuV1

En azul, se señalan correlaciones significativas para $\alpha < 0.01$

En naranja, mostramos correlaciones significativas para $\alpha < .0.05$.

En blanco, dejamos las correlaciones donde no puede demostrarse significatividad con los anteriores límites.


N5_1_S1


N6_1_S1

ANEXO 18. MAPAS DE COLOR DE CORRELACIONES DE SPEARMAN ENTRE MEDIAS GRUPALES DE PARÁMETROS FISIOLÓGICOS Y DIMENSIONES DE LAS ESCALAS EDUFLOW Y FKS POR SESIONES STEAM EN LOS GRUPOS DE CONTROL DURANTE LOS PRIMEROS 5 MINUTOS LECTIVOS (S1).

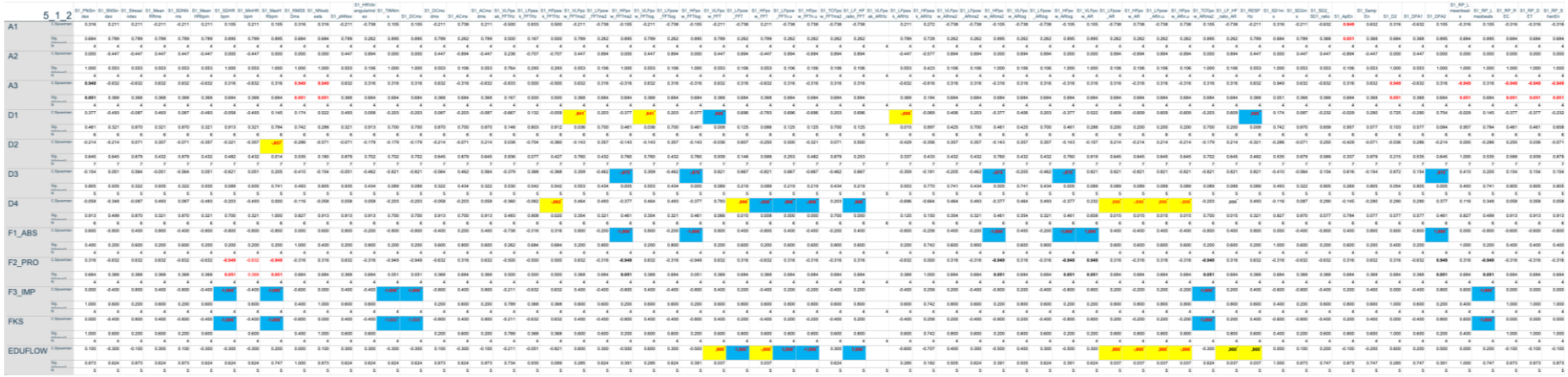
Por su gran extensión, las siguientes tablas contienen un resumen por grupos que puede encontrarse en https://acortar.link/3fBU4C

En azul, se señalan correlaciones significativas para $\alpha < 0.01$

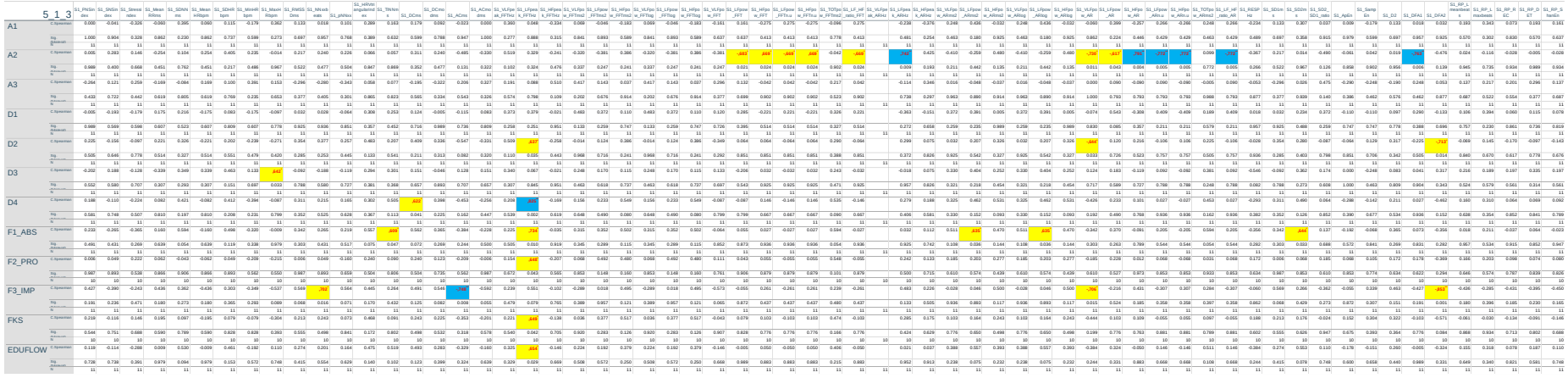
En naranja, mostramos correlaciones significativas para α <.0.05.

En blanco, dejamos las correlaciones donde no puede demostrarse significatividad con los anteriores límites.

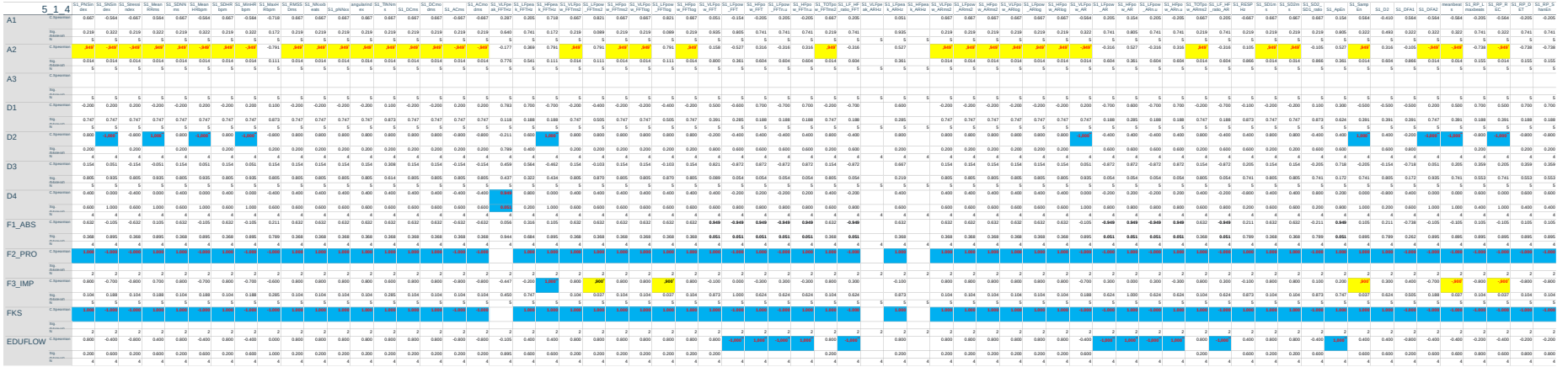
SESIÓN N5_1_2



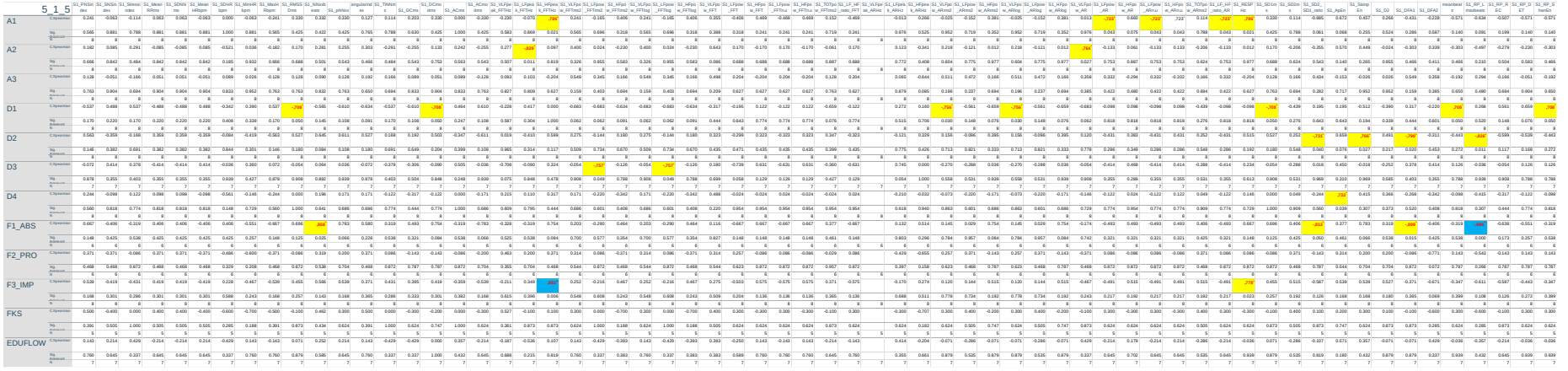
SESIÓN N5_1_3



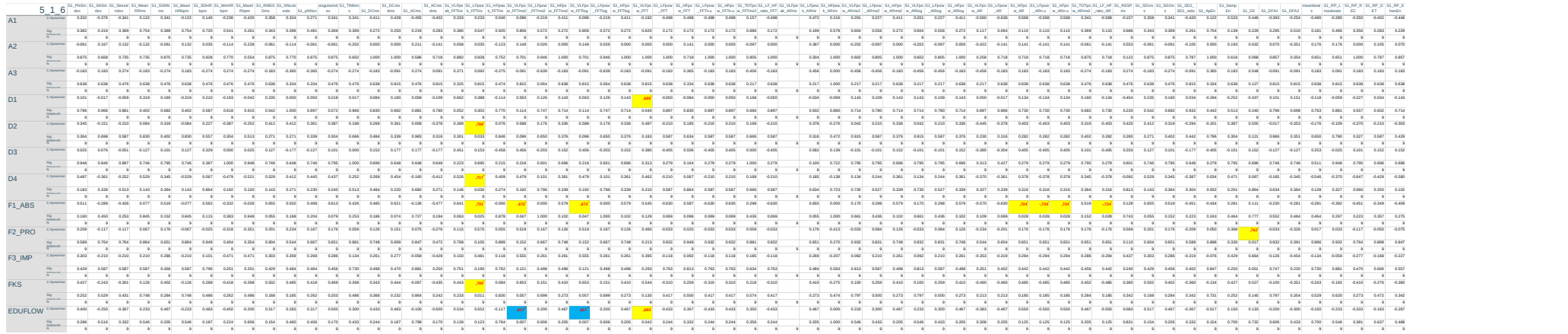
SESIÓN N5_1_4



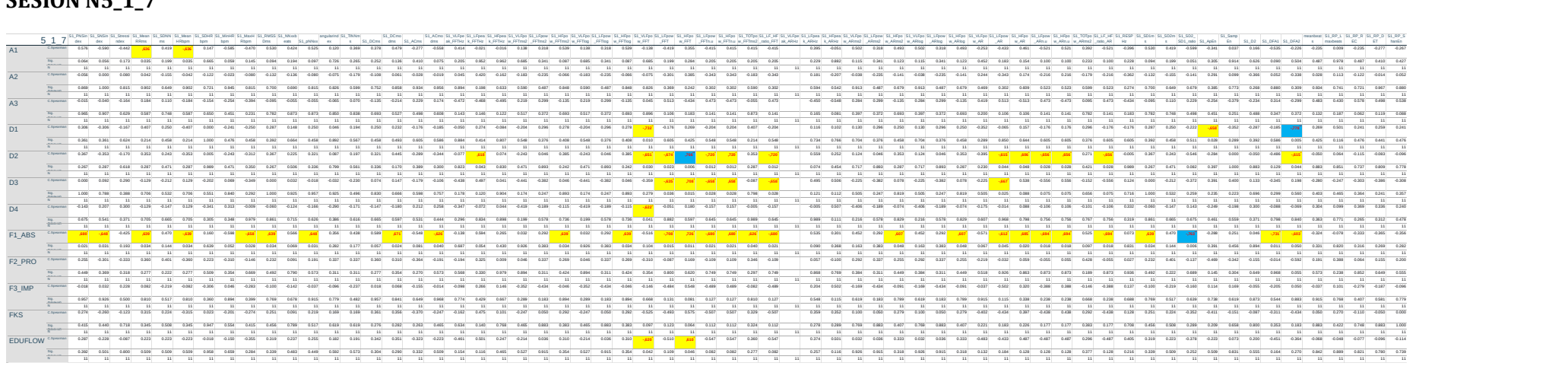
SESIÓN N5_1_5



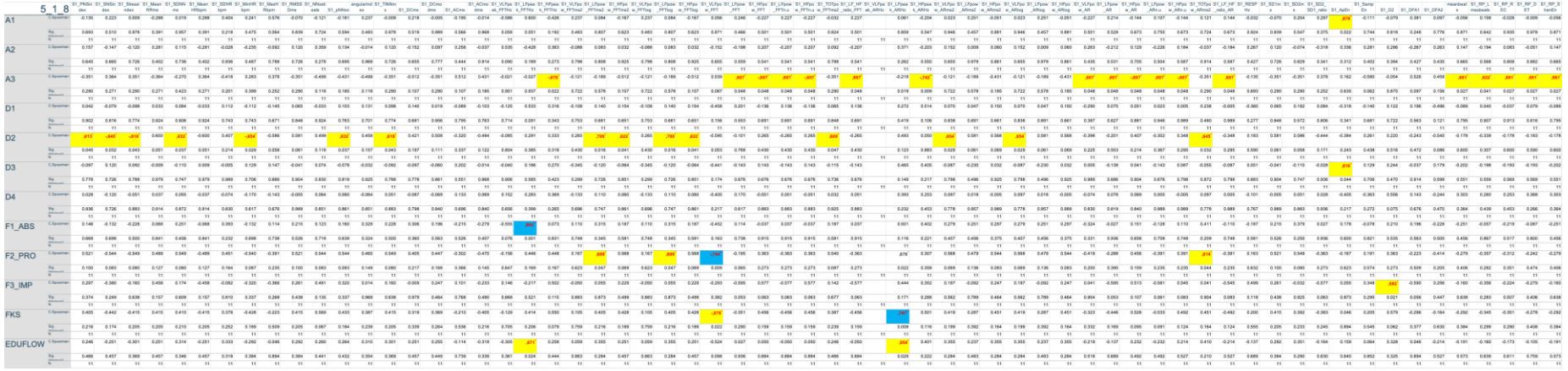
SESIÓN N5_1_6



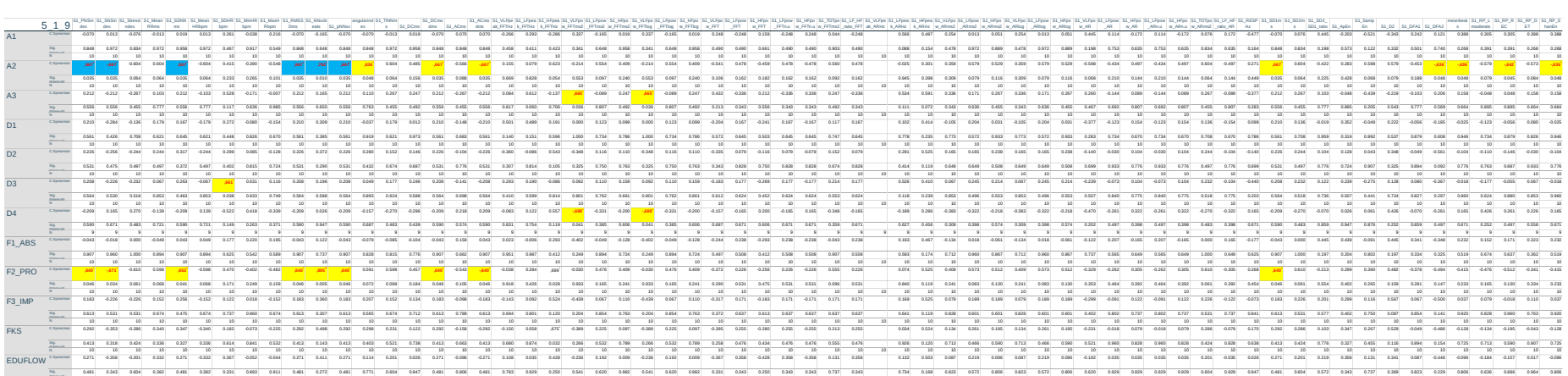
SESIÓN N5_1_7



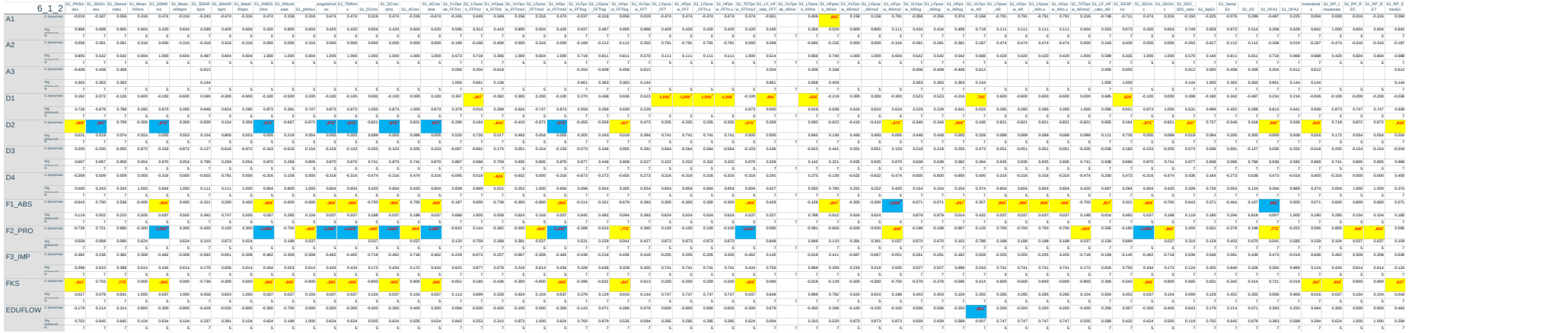
SESIÓN N5_1_8



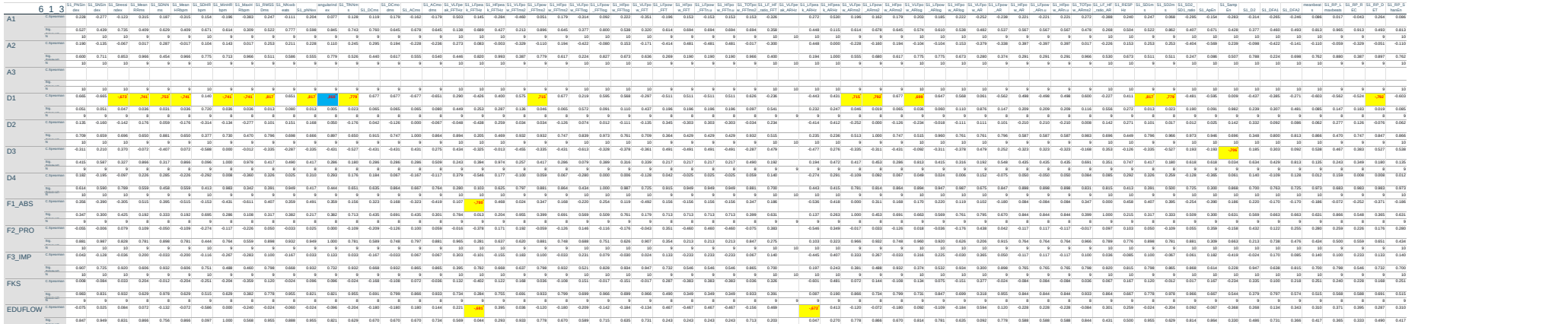
SESIÓN N5_1_9



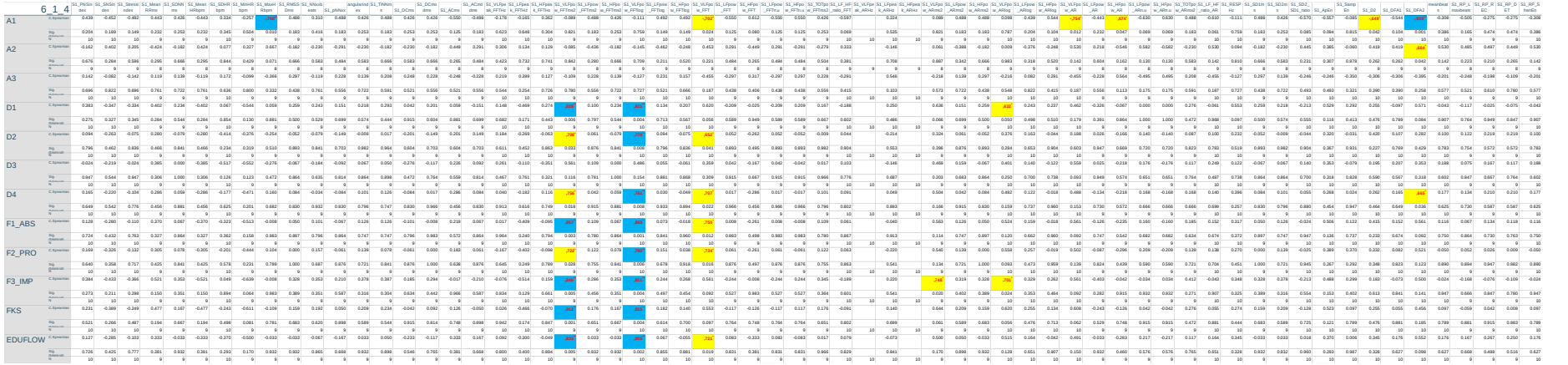
SESIÓN N6_1_2



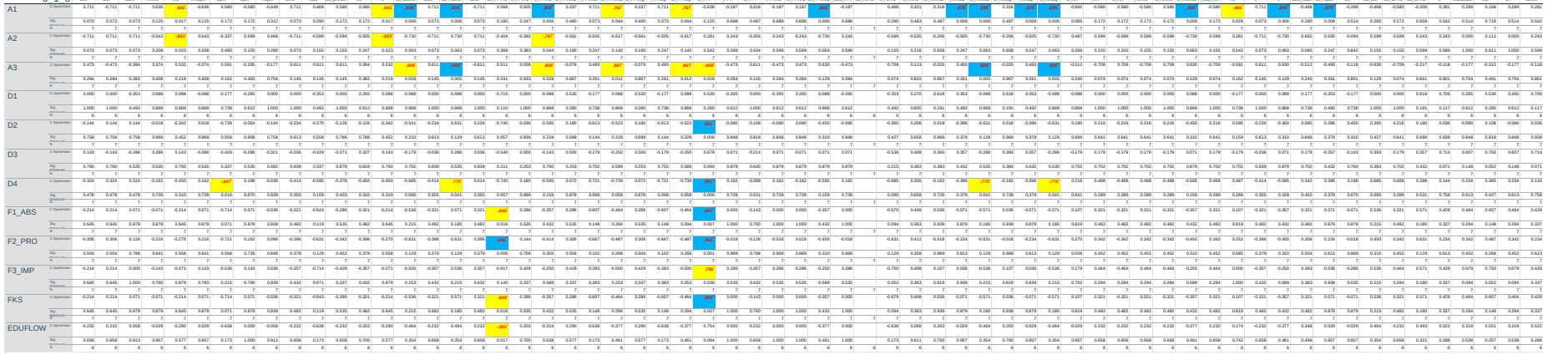
SESIÓN N6_1_3



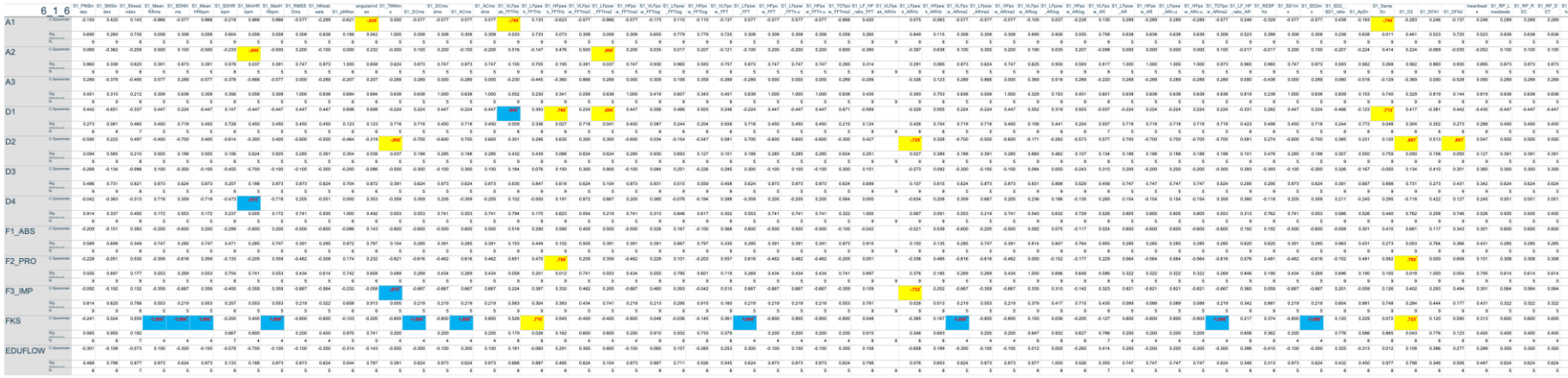
SESIÓN N6_1_4



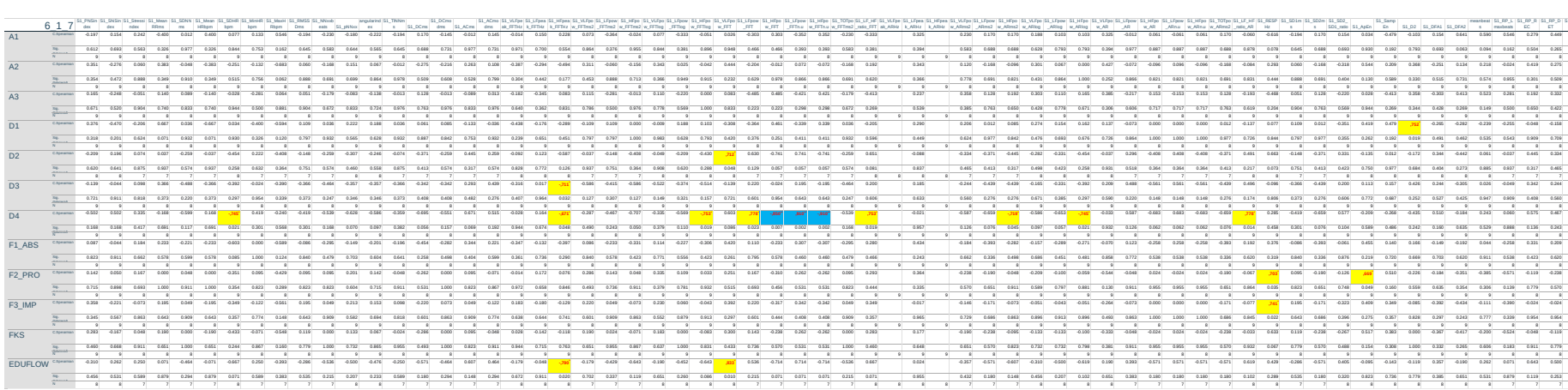
SESIÓN N6_1_5



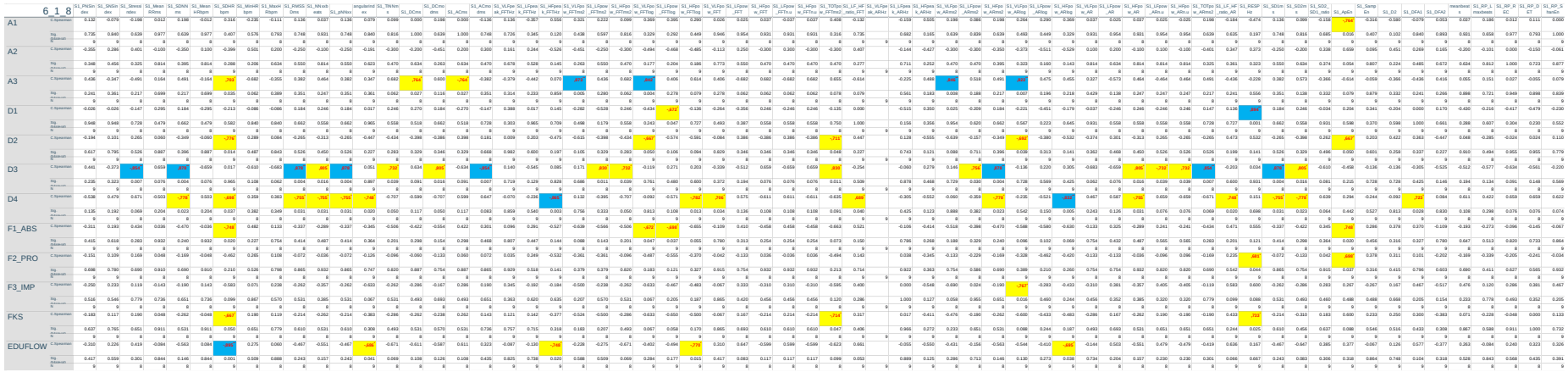
SESIÓN N6_1_6



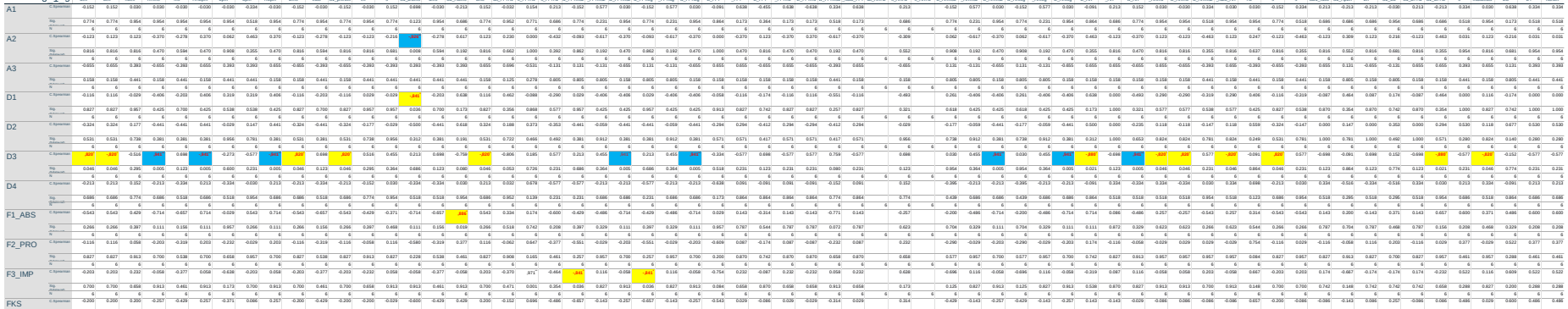
SESIÓN N6_1_7



SESIÓN N6_1_8



SESIÓN N6_1_9



ANEXO 19. DISPONIBILIDAD DE CÓDIGOS DE EJEMPLO EXPERIMENTALES.

El código necesario para constituir un SATEF desarrollado para esta tesis es de consulta abierta y se encuentra disponible bajo demanda al correo electrónico transfer.ict@unir.net, con el asunto: "Tesis David Rosas. Acceso a código". Por su naturaleza experimental, su uso queda bajo la responsabilidad exclusiva de quien lo utilice, declinando el autor toda responsabilidad para sí y/o la UNIR. Además, el autor, se reserva las acciones legales derivadas de un uso no acorde a las condiciones éticas de esta tesis, a la normativa legal española o de sus acuerdos internacionales.

ANEXO 20. GLOSARIO DE ABREVIATURAS.

A1	dimensión reto (challenge) de la escala FKS-10
A2	dimensión competencias (skills) de la escala FKS-10
A3	dimensión balance (equilibrio) de la escala FKS-10.
ACP	Análisis de Componentes Principales
AK	Escala de Agarwal & Karahanna
APQ	cuestionario Autotelic Personality Questionnaire
Barreras	característica del SATEF calculada a partir de las medias de las variables de la escala FKS llamadas Reto (A1), Competencias (A2) y Equilibrio (A3)
CFA	Análisis Factorial Confirmatorio
CFS	Core Flow Scale
Chall	"Challenges" o nivel de dificultad subjetivo o retos percibidos en una tarea
CS	músculos corrugator supercilii
CSS	del inglés, Cascading Style Sheets
CSV	formato de archivos Comma Separated Values
D1	dimensión "absortamiento cognitivo" de la escala EduFlow
D2	dimensión "transformación temporal" de la escala EduFlow
D3	dimensión "pérdida de autoconciencia" de la escala EduFlow
D4	dimensión "disfrute de la experiencia" (D4) de la escala EduFlow
D1g	media grupal de la dimensión absortamiento cognitivo
DHTML	del inglés, Dynamic HyperText Markup Language
DFS-1	escala Dispositional Flow Scale-1
DFS-2	escala Dispositional Flow Scale-2

DP	dilatación pupilar
ECG	señales electrocardiográficas
EDA	actividad electrodérmica medida mediante resistividad de la piel
EduFlow	escala EduFlow-1
EEG	electroencefalógrafo
EFM	Modelo de Fluctuación de la Experiencia o de ocho sectores
EMG	señales de actividad electromuscular
ESM	del inglés, Experience Sampling Method
FCS	cuestionario Flow-Clutch Scale
FHCI	cuestionario Flow in Human-Computer Interactions
FIMA	cuestionario Flow Indicators of Musical Activities Form
FKS-10	escala Flow-Kurzskala-10
FMI	cuestionario Flow Measurement Inventory
FMQ	cuestionario Flow Metacognitions Questionnaire
fMRI	imagen por resonancia magnética funcional
FOG	cuestionario Flow Observational Grid
FPG	análisis cardiológico mediante fotopletismografía
FPS	escala Flow Process Scale
FR	frecuencia respiratoria (hz)
FS	cuestionario Flow Survey
FSSOT	cuestionario Flow State Scale for Occupational Tasks
FSS-1	cuestionarios Flow Short Scale-1
FSS-2	cuestionarios Flow Short Scale-2

GSR	cuestionario de Ghani, Suppnik y Rooney
HR	pulso o número de veces por minuto que late el corazón
HRg	media aritmética grupal de las variables MeanHRbpm individuales
HRV	medidas de variabilidad del ritmo cardiaco
HTML	del inglés, HyperText Markup Language
HTTP	del inglés, Hypertext Transfer Protocol
Hz	hercio
IBI	tiempo en milisegundos que transcurre entre dos latidos cardiacos consecutivos
IoT	del inglés, Internet of Things (Internet de las Cosas)
JSON	del inglés, JavaScript Object Notation
KNN	algoritmo k vecinos próximos
LMS	del inglés, Learning Management System
MCS	Modelo Circumplejo del Afecto
MeanHRbpm	ritmo cardiaco medio determinado en pulsaciones por minuto
MMAT	método Mixed Methods Appraisal Tool
MOOCS	traducido del inglés, cursos Masivos Abiertos en Línea
MySQL	sistema de gestión de bases de datos relacionales de código abierto basado en el lenguaje de consulta estructurado SQL
OG	objetivo general de investigación
OE1	objetivo específico de investigación 1
OE2	objetivo específico de investigación 2
OE3	objetivo específico de investigación 3
OE4	objetivo específico de investigación 4

OO	músculo ocular orbicular
P	ondas electrocardiográficas P
PAT	modelo de *flow* Persona-Artefacto-Tarea
PHP	del inglés, lenguaje de programación multipropósito Hypertext Preprocessor
PICOS	criterios de selección Population Intervention Comparison Outcome Study Design
PRISMA	método Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
Q	ondas electrocardiográficas Q
R	ondas electrocardiográficas R
REST	Representational State Transfer
RFSS	escala Reading Flow Short Scale
RMSE	Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio
RR	intervalo en milisegundos entre dos ondas R consecutivas
S	ondas electrocardiológicas S
SATEF	Sistema de Alerta Temprana de Expectativa de Flow
SCORM	del inglés, Shareable Content Object Reference Model
SD	desviación estándar
SDg	desviación estándar de la variable HRg
SFPQ	cuestionario Swedish Flow Proneness Questionnaire
SFS	cuestionario Shared Flow Scale
SFWS	cuestionario Short Flow in Work Scale
Skills	nivel de competencia subjetiva en la realización de una tarea
SNA	Sistema Nervioso Autónomo

SNP	Sistema Nervioso Parasimpático
SNS	Sistema Nervioso Simpático
SOAP	del inglés, Simple Object Access Protocol
SPSS	paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences
STEAM	del inglés, metodología didáctica que combina Ciencias, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas
STEM	del inglés, metodología didáctica que combina Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas
SVM	máquinas de soporte de vectores
T	ondas electrocardiológicas T
VFM	cuestionario Virtual-Course Flow Measurement
WOLF	inventario Work-Related Flow
WOLF-S	cuestionario Study-Related Flow inventory
WoS	Web of Science
zBarreras	variable barreras normalizada en Z
zD1g	variable D1g normalizada en Z
zHRg	variable HRg normalizada en Z
zSDg	variable SDg normalizada en Z