

**MODELO DE EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN EL  
DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE**

**GUERRERO CALVACHE SANDRA MARCELA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
OCTUBRE, 2023**

# **MODELO DE EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE**

## **Autor**

GUERRERO CALVACHE SANDRA MARCELA, marcela1396@udenar.edu.co

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Ingeniería de Sistemas y Computación.

## **Asesor**

Mg. HERNANDEZ PANTOJA GIOVANNI ALBEIRO

**MAESTRIA EN**  

---

**INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
OCTUBRE, 2023**

## **Nota exclusión de responsabilidad intelectual**

*“Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son responsabilidad de los autores”.*

*Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.*



**MAESTRÍA EN**  

---

**INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN**

## Nota de Aceptación

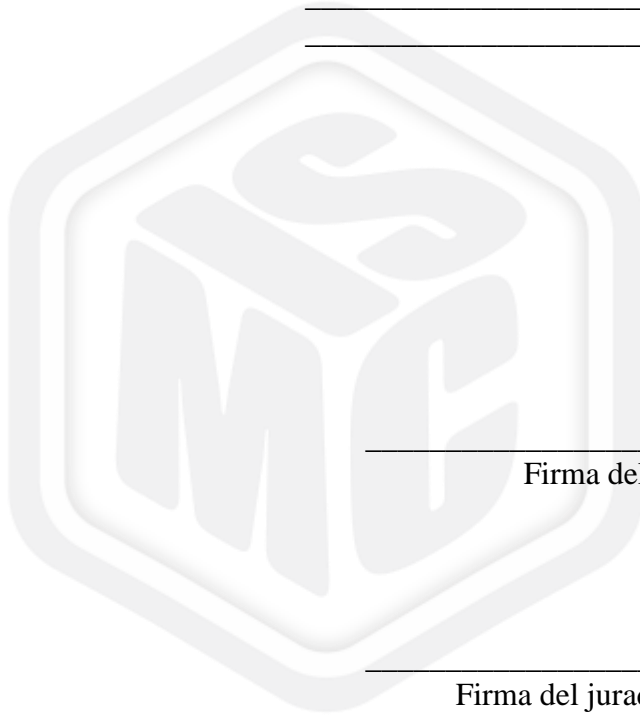
---

---

---

---

---



---

Firma del asesor

---

Firma del jurado evaluador

---

Firma del jurado evaluador

---

Firma del jurado evaluador

San Juan de Pasto, octubre de 2023

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por permitirme culminar con éxito mi tesis de maestría el cual ha sido producto del gran esfuerzo y dedicación de 2 años de arduo trabajo.

A mis padres por ser el motor, inspiración y acompañamiento durante todo mi proceso de crecimiento personal y profesional.

A mi asesor el Mg. Giovanni Hernández Pantoja. Creo que no tengo palabras suficientes para expresarle mi total agradecimiento por contribuir en mi trabajo de maestría. Gracias profe por su paciencia, su orientación, sus consejos, su valioso tiempo, por todas las enseñanzas y conocimiento brindado hacia mi persona, por motivarme, por no dejarme desfallecer, por ser más que un tutor, un gran amigo, un gran compañero, por consolidar conmigo un equipo.

A la Universidad de Nariño por el financiamiento total de mis estudios en la Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la PhD. Hanna Oktaba y PhD. Francisco Valdés por permitirme aprender de ellos, de su valioso conocimiento y por contribuir en mi proceso formativo.

A la PhD. Gloria Gasca de la Universidad de Medellín y al PhD. Carlos Mario Zapata de la Universidad Nacional Sede Medellín, por suministrar información valiosa que contribuyó a mi trabajo de grado.

Al PhD. Julio Ariel Alegría de la Universidad del Cauca, por su conocimiento brindado en los cursos de investigación, por sus pertinentes recomendaciones y consejos en el desarrollo de esta tesis.

A todas las personas que participaron de los instrumentos de recolección aplicados a lo largo de este proyecto. Sus aportes y comentarios fueron significativos en el desarrollo del mismo.

MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN

## **DEDICATORIA**

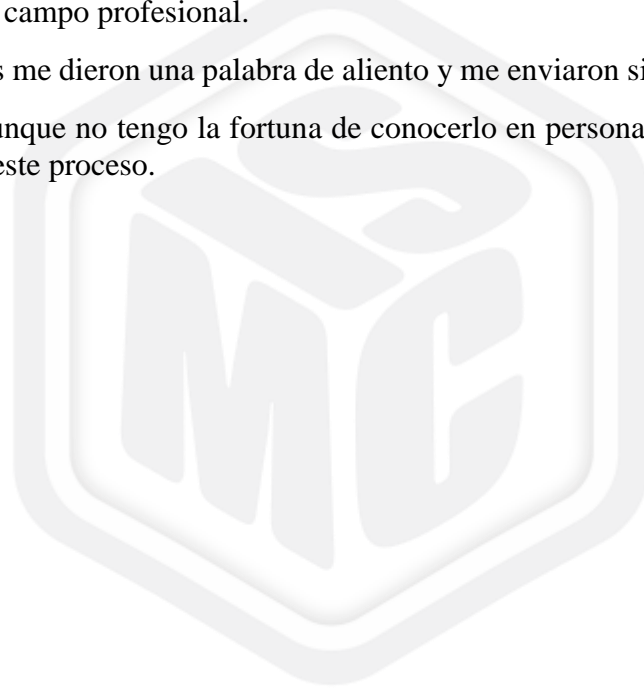
Este trabajo se lo dedico a mis padres Mercedes y Hernando quienes han sido mis compañeros y orientadores de vida.

De igual manera a mis abuelas Rosalba y Jesús Inés que, aunque ya no estén físicamente conmigo, sus enseñanzas perduran para siempre en mi mente y corazón.

A mi asesor de tesis porque gracias a él, aprendí muchas cosas y todo el conocimiento adquirido se verá reflejado en mi campo profesional.

A mis amigos, aquellos me dieron una palabra de aliento y me enviaron siempre su buena energía.

A Julián David que, aunque no tengo la fortuna de conocerlo en persona, le agradezco mucho su valiosa ayuda en todo este proceso.



**MAESTRÍA EN**  

---

**INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN**

## RESUMEN

La industria del software ha adoptado la cultura ágil, lo cual ha generado varios beneficios, incluyendo un aumento en la productividad del equipo. A pesar de esto, la literatura ha tratado de manera limitada el tema de cómo medir este indicador y sigue siendo un desafío importante de investigación.

El principal objetivo de esta investigación fue construir un modelo de evaluación de productividad de equipo en ASD.

La presente investigación se llevó a cabo bajo el paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo y un método empírico-analítico de naturaleza descriptiva y propositiva. La población objetivo estuvo compuesta por los integrantes de los equipos de desarrollo de software que emplean métodos ágiles, y el muestreo utilizado fue no probabilístico, específicamente de tipo intencional.

Como resultado de esta investigación, se ha desarrollado un proceso de medición de la productividad del equipo basado en un modelo conceptual. Este proceso guía una serie de actividades que permiten a los equipos evaluar su desempeño y reflexionar sobre su comportamiento.

**Palabras Clave:** Desarrollo Ágil de Software, Factores de Productividad, Modelo de Medición de Productividad de Equipo, Productividad de equipo, Proceso de Medición de Productividad de equipo, Scrum.

MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN

## ABSTRACT

The software industry has adopted the agile culture, which has generated several benefits, including an increase in team productivity. Despite this, the literature has dealt in a limited way with the issue of how to measure this indicator and it remains an important research challenge.

The main objective of this research was to construct a model for evaluating team productivity in ASD.

The present research was conducted under the positivist paradigm, with a quantitative approach and an empirical-analytical method of a descriptive and propositional nature. The target population was composed of the members of software development teams that use agile methods, and the sampling used was non-probabilistic, specifically of the intentional type.

As a result of this research, a process for measuring team productivity based on a conceptual model has been developed. This process guides a series of activities that allow teams to evaluate their performance and reflect on their behavior.

**Keywords:** Agile Software Development, Productivity Factors, Team Productivity Measurement Model, Team Productivity, Team Productivity Measurement Process, Scrum.



MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	14
INTRODUCCIÓN .....	15
A. GRUPO Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....	16
B. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
C. JUSTIFICACIÓN.....	17
D. OBJETIVOS.....	19
I. MARCO TEÓRICO.....	20
A. ESTADO DEL ARTE .....	20
B. SUPUESTOS TEÓRICOS .....	25
II. METODOLOGÍA .....	46
III. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	47
A. CARACTERIZACIÓN DE LAS PERCEPCIONES DE PRODUCTIVIDAD A NIVEL DE EQUIPO EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE.....	47
B. MODELO DE EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE.....	79
C. PROCESO DE EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE.....	89
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	118
V. CONCLUSIONES .....	121
VI. RECOMENDACIONES .....	122
VII. TRABAJOS FUTUROS .....	123
VIII. PUBLICACIONES Y DIVULGACIÓN.....	124
A. PUBLICACIONES EN REVISTAS .....	124
B. PUBLICACIONES SOMETIDAS.....	124
C. CONTRIBUCIONES EN EVENTOS CIENTÍFICOS .....	124
D. RECONOCIMIENTOS.....	125
REFERENCIAS .....	126

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Fig. 1. Síntesis conceptual de supuestos teóricos .....	25
Fig. 2. Línea de tiempo del concepto de productividad .....	28
Fig. 3. Etapas dentro del proceso de medición.....	36
Fig. 4. Ejemplo modelo de medición en ASD.....	39
Fig. 5. Elementos de un proceso software.....	40
Fig. 6. Actividades desarrolladas en el primer objetivo.....	47
Fig. 7. Proceso de realización de mapeo sistemático .....	47
Fig. 8. Resultados por cada gestor bibliográfico .....	53
Fig. 9. Número de estudios identificados por cada filtro de búsqueda y con evaluación de calidad. .....	55
Fig. 10. Mapa de conceptos recurrentes sobre productividad de equipo en ASD.....	60
Fig. 11. Factores de productividad identificados en el SMS.....	64
Fig. 12. Proceso de realización de la encuesta .....	68
Fig. 13. Edad de los encuestados.....	71
Fig. 14. Tiempo que llevan los profesionales desempeñándose en proyectos de software.....	71
Fig. 15. Métodos ágiles empleados por los profesionales de software .....	72
Fig. 16. Percepciones de productividad .....	73
Fig. 17. Indicadores que los profesionales utilizan para medir la productividad.....	74
Fig. 18. Medición de productividad en su equipo .....	75
Fig. 19. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Significado .....	76
Fig. 20. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Impacto .....	76
Fig. 21. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Flexibilidad .....	76
Fig. 22. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Alto Desempeño .....	77
Fig. 23. Actividades desarrolladas en el segundo objetivo .....	79
Fig. 24. Diagrama de clases y sus elementos .....	81
Fig. 25. Relación de Asociación.....	81
Fig. 26. Relación de Dependencia.....	82
Fig. 27. Relación de Generalización .....	82
Fig. 28. Factores de productividad de equipo seleccionados .....	85
Fig. 29. Modelo conceptual propuesto .....	87
Fig. 30. Actividades desarrolladas en el tercer objetivo .....	89
Fig. 31. Evolución del uso de Scrum en las organizaciones. ....	93
Fig. 32. Etapas del proceso de medición.....	96
Fig. 33. Fases del proceso de medición de productividad de equipo en ASD .....	107
Fig. 34. Fase de planeación del proceso de medición de productividad .....	107
Fig. 35. Fase de ejecución del proceso de medición de productividad .....	108

Fig. 36. Fase de evaluación del proceso de medición de productividad .....	108
Fig. 37. Actividades del proceso de validación.....	109
Fig. 38. Nivel de aceptación de la propuesta por los estudiantes.....	114
Fig. 39. Aspectos positivos de la propuesta según los estudiantes. ....	115
Fig. 40. Dificultades de la propuesta según los estudiantes. ....	115
Fig. 41. Aspectos por incluir en la propuesta según los estudiantes. ....	116
Fig. 42. Aspectos por mejorar de la propuesta según los estudiantes. ....	116



# MAESTRÍA EN

---

## INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

## LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA I. LÍNEA DE TIEMPO: DEFINICIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN INGENIERÍA DE SOFTWARE .....	29
TABLA II. METODOLOGÍA: CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN. ....	46
TABLA III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SMS .....	48
TABLA IV. CADENA DE BÚSQUEDA EN MOTORES .....	49
TABLA V. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DEL SMS .....	50
TABLA VI. FILTROS USADOS PARA EL ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN .....	50
TABLA VII. RESULTADOS DEL PRIMER FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO .....	51
TABLA VIII. TÉRMINOS EMPLEADOS PARA LA REVISIÓN DE PALABRAS CLAVE ...	51
TABLA IX. RESULTADOS DEL SEGUNDO FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO ...	51
TABLA X. RESULTADOS TRAS LA ELIMINACIÓN DE DUPLICADOS.....	52
TABLA XI. RESULTADOS DEL CUARTO FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO .....	52
TABLA XII. RESULTADOS DEL QUINTO FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO.....	52
TABLA XIII. LISTADO DE ARTÍCULOS PRELIMINARES.....	53
TABLA XIV. CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE ARTÍCULOS .....	54
TABLA XV. EVALUACIÓN DE LOS ARTÍCULOS POR CRITERIOS DE CALIDAD .....	54
TABLA XVI. LISTADO DE ARTÍCULOS SELECCIONADOS.....	55
TABLA XVII. CANTIDAD DE ESTUDIOS IDENTIFICADOS POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO .....	56
TABLA XVIII. TIPO ESTUDIOS DE LOS ARTÍCULOS .....	56
TABLA XIX. PAÍS DE AFILIACIÓN DE LOS ARTÍCULOS .....	57
TABLA XX. FRECUENCIA DE PUBLICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS .....	57
TABLA XXI. CATEGORÍAS DE LAS PALABRAS CLAVE .....	57
TABLA XXII. MÉTODOS ASD IDENTIFICADOS EN LOS ESTUDIOS .....	58
TABLA XXIII. CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN ASD .....	58
TABLA XXIV. CATEGORÍAS ASOCIADAS AL CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD EN ASD .....	60
TABLA XXV. FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA SIGNIFICADO.....	61
TABLA XXVI. FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA IMPACTO .....	61
TABLA XXVII. FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA FLEXIBILIDAD .....	62
TABLA XXVIII. FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA ALTO DESEMPEÑO.....	63
TABLA XXIX. DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA SIGNIFICADO .....	64
TABLA XXX. DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA IMPACTO .....	65
TABLA XXXI. DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA FLEXIBILIDAD .....	66
TABLA XXXII. DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA ALTO DESEMPEÑO.....	66

TABLA XXXIII. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN PARA LA SELECCIÓN DE PARTICIPANTES .....	70
TABLA XXXIV. ELEMENTOS DE UN DIAGRAMA DE CLASES.....	80
TABLA XXXV. FACTORES SELECCIONADOS POR PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA DE SOFTWARE .....	83
TABLA XXXVI. FACTORES SOCIO HUMANO IDENTIFICADOS EN ESTE ESTUDIO....	84
TABLA XXXVII. ENTIDADES Y PROPIEDADES IDENTIFICADOS EN EL MODELO .....	85
TABLA XXXVIII. NIVELES DE MODELADO DE BPMN .....	90
TABLA XXXIX. ELEMENTOS GRÁFICOS DE BPMN .....	91
TABLA XL. MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA SIGNIFICADO .....	97
TABLA XLI. MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA IMPACTO.....	98
TABLA XLII. MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA FLEXIBILIDAD .....	98
TABLA XLIII. MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA SOCIO HUMANOS.....	99
TABLA XLIV. ACTIVIDADES, ELEMENTOS DE ENTRADA, PRODUCTOS DE TRABAJO Y ROLES DEL PROCESO DE MEDICIÓN. ....	101
TABLA XLV. FORMATO PARA ESPECIFICAR LA MEDICIÓN.....	103
TABLA XLVI. FORMATO PARA LA EJECUCIÓN DE LA MEDICIÓN .....	104
TABLA XLVII. FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDICIÓN .....	105
TABLA XLVIII. FORMATO DE INFORME DE RECOMENDACIONES .....	105
TABLA XLIX. ACTIVIDADES DEL PROCESO DE MEDICIÓN VINCULADAS A SCRUM .....	105
TABLA L. NIVEL DE RELEVANCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCTIVIDAD POR LOS PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA DE SOFTWARE .....	110
TABLA LI. MÉTRICAS DE LOS FACTORES DE PRODUCTIVIDAD .....	110
TABLA LII. PARTICIPACIÓN DE LAS UNIVERSIDADES EN EL PROCESO DE VALIDACIÓN.....	111
TABLA LIII. FORMATO PARA ESPECIFICAR LA PLANEACIÓN DEL FACTOR VELOCIDAD.....	112
TABLA LIV. FORMATO PARA ESPECIFICAR LA EJECUCIÓN DEL FACTOR VELOCIDAD.....	112
TABLA LV. FORMATO PARA ESPECIFICAR LA EVALUACIÓN DEL FACTOR VELOCIDAD.....	113
TABLA LVI. FORMATO INFORME DE RECOMENDACIONES .....	113

## GLOSARIO

**DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE.** Es un enfoque iterativo e incremental introducido en el año 2001 con la aparición del Manifiesto por el Desarrollo Ágil de software el cual trae una nueva perspectiva de equilibrar la flexibilidad con la estabilidad, capacidad para responder el cambio, combinar la creatividad e innovación del equipo de desarrollo y liderar proyectos a pesar de las dificultades y la incertidumbre [1].

**EQUIPO ÁGIL.** Conjunto de individuos que combinan la autoorganización y la autonomía en sus actividades cotidianas, lo cual se refleja en el aprendizaje continuo y compartido entre sus participantes. Poseen la capacidad de tomar decisiones, asumiendo riesgos para alcanzar sus objetivos, aprovechando diversas herramientas tecnológicas, su conocimiento y experiencia. Además, se esfuerzan por desarrollar entregables en períodos de tiempo cortos, demostrando un compromiso y habilidades de autogestión destacados [2].

**FACTOR.** Variable o elemento que puede tener influencia o impacto en un proceso, situación o resultado.

**MODELO.** Abstracción de la realidad que permite eliminar los detalles y ver una entidad desde un punto de vista en particular [3].

**MODELO CONCEPTUAL.** Representación simplificada y abstracta de un proceso real a partir de una visión particular [4],[5],[6].

**PROCESO EN INGENIERIA DE SOFTWARE.** Conjunto de actividades que se deben desarrollar en un periodo de tiempo, que emplean recursos y generan productos de trabajo [7].

**PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN ASD.** Concepto abstracto que cumple un papel fundamental [8],[9] puesto lo consideran como un indicador de mejora dentro de sus procesos [10], [11] y contribuye a que un equipo ágil alcance mejores resultados [9].

**PRODUCTIVIDAD EN INGENIERIA DE SOFTWARE.** Relación entre las salidas generadas tras un proceso de construcción de software y los insumos que contribuyeron a la obtención de dichos resultados [12].

**SCRUM.** Método de desarrollo ágil de software que tuvo surgimiento desde la década de los 90' por Ken Schwaber y Jeff Sutherland [13]. Fue pensado para ejecutarse en cualquier tipo de proyecto de gran complejidad, siendo uno de estos el desarrollo de software [14].

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día la evaluación de productividad en el desarrollo ágil de software (ASD por sus siglas en inglés) juega un papel fundamental dentro de las organizaciones porque contribuye a determinar el desempeño del equipo y a generar información significativa que facilite la toma de decisiones orientadas al éxito de un proyecto. Sin embargo, este concepto ha sido abordado en la literatura de forma muy limitada y solo se enfatizan en factores de medición y no un modelo formal de estimación de productividad.

Por otro parte, la evaluación de productividad es muy diferente en el desarrollo ágil de software (ASD). Por ejemplo, los valores y principios consignados en el manifiesto ágil en mediciones de productividad son abstractos. Así mismo, las métricas formuladas para la medición de este indicador se basan en el desarrollo de software tradicional [15] teniendo en cuenta que para la agilidad la entrega de valor y satisfacción al cliente es fundamental. Lo anterior ha generado desconocimiento sobre el concepto de productividad en los equipos ASD lo que ocasiona que sus miembros no dispongan de lineamientos y formas para medirla que les permita mejorar.

De acuerdo con la problemática previamente descrita, se desarrolló este proyecto con el fin de construir un modelo de evaluación de productividad de equipo en el desarrollo ágil de software. Para lograr este propósito, en primer lugar, se caracterizó las concepciones y percepciones de productividad que existen tanto en la literatura como en integrantes de equipos ágiles. Posteriormente se definió un modelo conceptual de evaluación de productividad de equipo en ASD y finalmente se propuso un proceso de medición de productividad para equipos Scrum el cual viene acompañado de métricas, actividades, recursos y roles en tres momentos importantes: Planeación, Ejecución y Evaluación.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. En el capítulo I se encuentra la contextualización del proyecto. El capítulo II describe el marco teórico. El capítulo III aborda la metodología. El capítulo IV detalla los resultados de la investigación. El capítulo V se encuentra el análisis y discusión de resultados. Finalmente, en el capítulo VI al IX se encuentran respectivamente las conclusiones, recomendaciones, trabajos futuros y los productos de investigación obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

## I. CONTEXTUALIZACIÓN

### A. GRUPO Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto está adscrito bajo el grupo de investigación Galeras.Net. La modalidad del proyecto corresponde a un trabajo de Investigación, que se desarrolla bajo la línea de ingeniería de software y manejo de Información.

### B. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de modelos ágiles es más frecuente en las organizaciones. Un 49% de las empresas del mercado referente al área de Tecnologías de la información (TI) contemplan estas prácticas para el desarrollo de sus proyectos, Scrum es la más utilizada [16]. Es por ello que la cultura de la agilidad se ha incorporado en la industria de software ofreciendo beneficios como la capacidad para gestionar los cambios, visibilidad en los proyectos, alineación del negocio e incremento de la productividad de equipo, siendo este último elemento muy importante dentro del desarrollo de software pero muy limitadamente abarcado en la literatura [17] enfatizándose más en la formulación de métricas y no en un modelo para estimar el esfuerzo en la productividad de software [18], lo cual este factor sigue siendo hasta el momento un gran reto [19].

Por otra parte, los proyectos en el desarrollo ágil de software crecen continuamente y es necesario contar con indicadores que permitan evaluar la productividad que tiene el equipo [20], las perspectivas cambian en relación con la definición de la forma o manera de productividad. Por ejemplo, desde los roles de Scrum, la perspectiva un *Product Owner* sobre productividad puede ser muy diferente a la que tiene de un integrante del *Development Team* ya que cada uno comprende el concepto de acuerdo con rol que tiene y las actividades que ejerce [17].

De otro lado, los valores y principios consignados en el manifiesto ágil han generado elementos claves en las organizaciones para propiciar ambientes que posibilitan mejorar a los equipos de desarrollo ágil de software a través de la autoorganización, colaboración y motivación [17]; sin embargo, estos siguen siendo abstractos al traducirse en mediciones de productividad.

La forma en cómo se desarrolla software, el comportamiento que evidencian los participantes en la realización de una actividad y las técnicas empleadas, han generado algunos de los cuestionamientos sobre ¿Cómo evaluar productividad de equipo en el desarrollo ágil de software? Algunos autores proponen las métricas como un camino para obtener datos sobre una variable a analizar y producir información objetiva que permita aprender sobre un equipo [17] y ayude a la toma de decisiones para reorientar su comportamiento con el fin de mejorar. No obstante, el reto que plantea esta forma de medición de productividad implica que el proceso de obtención y generación de información no debería ser más costoso que la utilidad de la información que se produce.

En particular, existen pocas investigaciones científicas donde se evalué el impacto de las prácticas ágiles sobre la productividad [21] y las existentes se enfatizan más en una concepción basada en términos de líneas de código (LOC) o funcionalidades producidas en cierto periodo de tiempo. Cabe resaltar que esta medición de productividad es ambigua [22] ya que el desarrollo de software es una actividad compleja de la cual pueden desprenderse varias circunstancias, ya que las LOC pueden variar de acuerdo con el lenguaje de programación utilizado y las funcionalidades pueden llegar a ser triviales si no agregan valor al usuario final [23].



La motivación por el desarrollo de esta investigación surge por explorar formas para evaluar o medir productividad de equipo en el desarrollo ágil de software que reduzca la ambigüedad de los valores y principios propuestos en el manifiesto por el desarrollo ágil de software, que incluya la relevancia que tiene la productividad desde los roles que desempeñan los integrantes de un equipo y evitando el sobre costo al momento de evaluarla o medirla.

### **1) *Formulación del Problema***

¿Cómo contribuir a la evaluación de productividad de equipo en el desarrollo ágil de software?

### **2) *Sistematización del Problema***

- ¿Cuáles son las concepciones y percepciones que se tiene de productividad a nivel de equipo en el desarrollo ágil de software?
- ¿Cuáles son los elementos de medición del modelo de evaluación de productividad de equipo en el desarrollo ágil de software?
- ¿De qué forma se puede establecer un proceso de medición de productividad de equipo en el desarrollo ágil de software, que incluya el modelo de evaluación propuesto?

## **C. *JUSTIFICACIÓN***

Los métodos ágiles proponen un conjunto de prácticas las cuales han sido incorporadas en las organizaciones para ser efectuadas por sus equipos, alcanzar resultados rápidos enfocados al valor del negocio y a mejorar su productividad siendo este un factor de vital consideración en la realización de sus actividades.

El presente proyecto pretende construir un modelo de evaluación de productividad para equipos de desarrollo ágil de software, ya que la agilidad está ocupando una posición relevante dentro de la industria TI y los equipos requieren apropiarse de técnicas que sirvan de apoyo en perfeccionar su labor de acuerdo al rol que estén ejerciendo, manejar estrategias pertinentes que les ayude a contar con entregables en el tiempo establecido por el cliente y cumpliendo con las expectativas comprometidas.

Esta investigación es interesante porque al caracterizar las percepciones de productividad a nivel de equipo se busca comprender en profundidad las concepciones que se presentan en la literatura sobre productividad en ASD, identificar su significado, los factores que influyen en su incremento, métricas formuladas y su uso a través del tiempo. Así mismo, este constructo teórico será confrontado con el imaginario que tienen los desarrolladores de software sobre este tópico.

La propuesta para contrastar la teoría sobre productividad en ASD y las percepciones de los desarrolladores de software es relevante porque el camino sistemático que se propone en este estudio se puede convertir en una guía y transferirse a otros trabajos relacionados.

Otro aspecto de interés de la presente investigación corresponde con la definición de los elementos de medición del modelo de evaluación de productividad de equipo en ASD, porque se realizará una exploración sobre entidades, relaciones, medidas y escalas de valoración a utilizar en la propuesta. También, al concretar un proceso de medición del modelo diseñado, permitirá transitar de la abstracción teórica a un conjunto de acciones que cumplen un fin y que son susceptibles de ser

repetidas por los integrantes de un equipo. Para otras investigaciones donde se presentan elementos de intervención con el propósito transformar la productividad de equipo, el modelo que surgirá de esta investigación facilitará realizar mediciones para conocer su incidencia e impacto.

Esta investigación es útil porque con la lectura y análisis de la información expuesta en fuentes bibliográficas se podrá sintetizar y extraer componentes de vital importancia para el estudio, se profundizará de manera sistemática y organizada las concepciones que se tiene hasta el momento sobre productividad, ampliando de manera detallada el tema y lo cual servirá para efectuar el contraste con los supuestos que tienen los desarrolladores de software a fin de determinar similitudes y diferencias. Las percepciones identificadas en los equipos ASD permitirá entender la noción de productividad de acuerdo con las actividades y papel que cada integrante este desempeñando, y serán insumo para establecer los elementos que harán parte de la construcción del modelo, los cuales aportarán metodológicamente a la representación de los constructos teóricos, producto de las ideas abstraídas de la literatura y el análisis efectuado establecerá las entidades y sus relaciones congruentes con el contexto de la agilidad, sus valores y principios.

Posteriormente al precisar las etapas del proceso de medición de productividad de equipo se fijarán por cada una de ellas, las actividades a realizar, lo cual formalizará la propuesta para que pueda ser adoptada por cualquier equipo ágil.

Este proyecto será beneficioso para grupos de distinta índole. Por una parte, están los equipos ASD los cuales contarán con un modelo de evaluación de productividad que generará información que facilite la toma de decisiones dentro las organizaciones; de la misma forma para la comunidad científica en el área de Ingeniería de software y para aquellas personas que indaguen sobre el tema de productividad, ya que servirá de orientación para proyectos que estén alineados a este contexto. Por último, para la academia puesto que el proyecto se lleva a cabo a partir de la aplicación de técnicas, tácticas y fases de un proceso investigativo que traerá nuevo conocimiento y explora nociones de gran interés.

El aporte novedoso de la investigación radica en que profundiza un tópico abarcado de manera limitada en la literatura, donde la creación de un modelo no ha sido el fin formal de diferentes estudios, sino por el contrario, se evidencia una separación entre factores, métricas y perspectivas de productividad a través del tiempo. Por lo anterior, con la realización de la propuesta, se pretende consolidar un modelo que propicie información objetiva sobre la conducta que tiene un equipo ágil y sea apta para reconocer fortalezas y oportunidades de mejora, retroalimentando las prácticas que llevan a cabo.

Finalmente, con la puesta en marcha del modelo de evaluación de productividad de equipo en un ambiente de pruebas, se podrá determinar la eficiencia de la propuesta, identificar posibles elementos de mejoramiento y validar su aplicabilidad en contextos ágiles.

La realización de la investigación traerá consigo un impacto innovador que favorecerá a la industria de software, donde el desconocimiento por la medición de productividad ya no será un gran interrogante en sus procesos y a su vez sea un referente para trabajos futuros.

## **D. OBJETIVOS**

### **1) Objetivo general**

Construir un modelo de evaluación de productividad de equipo en el desarrollo ágil de software.

### **2) Objetivos específicos**

- Caracterizar las percepciones de productividad a nivel de equipo en el desarrollo ágil de software.
- Diseñar un modelo de evaluación de productividad de equipo en el desarrollo ágil de software.
- Proponer un proceso de medición que permita la aplicación del modelo de evaluación de productividad en el desarrollo ágil de software.



## II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se describen las teorías y fundamentos que servirán como guía para el desarrollo de este trabajo de investigación.

### A. ESTADO DEL ARTE

#### 1) Antecedentes Nacionales

Machuca y Gasca en su trabajo [24] propone un modelo basado en gamificación el cual pretende influir en la productividad del equipo interviniendo en los factores sociales y humanos (FSH). El estudio muestra una propuesta de solución novedosa el cual pretende incluir tres ejes temáticos en la Ingeniería de software: la gamificación, los FSH en contextos del desarrollo de software con el fin de promover el fortalecimiento de habilidades y destrezas, y servir como una estrategia de mejora en la productividad.

La principal similitud del antecedente con la investigación se presenta en la definición de una forma de evaluación de productividad en equipos de desarrollo de software. No obstante, el presente estudio incluirá una caracterización de las percepciones de productividad de equipos ágiles y la forma de evaluación se llevará a cabo a través de un proceso de medición que incluirá actividades, roles y flujos de control, lo cual facilitará la formulación de un modelo aplicable a entornos ágiles.

#### 2) Antecedentes Internacionales

El investigador Pedro Castañeda [25] introduce un enfoque que emplea el análisis envolvente de datos (DEA) con el propósito de valorar la eficacia comparativa de las empresas de software y sus proyectos, así como cuantificar la productividad en la generación de software.

El modelo fue aplicado en 6 fábricas de software y 160 proyectos en dos fases. La primera tuvo como propósito determinar la productividad de las fábricas resaltando la más eficiente con el fin de identificar las prácticas usadas para alcanzar buenos resultados. En la segunda etapa se estableció la productividad a nivel de proyecto en fábricas de software, con el fin de destacar los mejores proyectos e identificar aquellos que servirán como referentes. Como resultado el modelo mencionado permite eliminar el sesgo existente en la medición de productividad en comparación con otras técnicas estadísticas empleadas obteniendo que se establezca claramente la fábrica de software y el proyecto más eficiente.

Las semejanzas del antecedente con este estudio radican en que parten de una revisión sistemática de literatura sobre el tópico productividad y los cuales contribuyen a la definición de los elementos para su medición. Sin embargo, la presente investigación involucra a los equipos de desarrollo ágil de software y el modelo será abordado por un proceso de medición apoyado en técnicas de Ingeniería de software.

Iqbal y otros en su estudio [26] identifican los factores que pueden influir en la productividad en equipos ASD. Para el logro de ello, la investigación combina la revisión de literatura y la aplicación de un cuestionario online a 52 compañías de desarrollo de software de Pakistán. El análisis de los resultados se consolidó empleando técnicas estadísticas como la desviación media y estándar, y el Coeficiente de correlación de Spearman. En este estudio, se evidencia el uso de estadística descriptiva y una técnica de correlación para explorar la relación entre los factores de equipo y productividad en el desarrollo ágil de software en equipos. Los resultados mostraron que todos los factores del equipo (integrantes, rol, relaciones interpersonales) están correlacionados

positivamente, y las reuniones de líderes y las pruebas unitarias y de regresión, se correlacionan negativamente con la productividad. Con la investigación se pretende proporcionar un análisis cuantitativo que genere información oportuna sobre la dinámica del trabajo de los equipos en ASD a fin de establecer una base para la formulación de nuevos modelos.

Las principales similitudes del estudio con la presente investigación se relacionan porque parten de una revisión sistemática de literatura sobre productividad en equipos de desarrollo ágil de software, asimismo se efectúa un acercamiento con integrantes de dichos equipos para conocer su posición frente a este tema. No obstante, en esta investigación trae la formulación de un modelo basado en proceso de Ingeniería de software el cual se definirá gracias a los insumos de lectura y análisis cuantitativo generado con la aplicación de una encuesta y lo cual contribuirá a la medición de productividad en estos entornos.

El autor Castañeda [27] realiza una revisión sistemática sobre los factores y modelos existentes que faciliten la medición de productividad en industrias de software. Para ello seleccionan 25 estudios primarios que aportan al proceso investigativo identificando 74 factores que influyen en la productividad y 10 modelos. El estudio concluye que no existen modelos para la medición de la productividad en las industrias de software y que la mayoría se orientan bajo la unidad de trabajo de Programación. Complementariamente los modelos existentes miden la productividad interna de la organización y no externa lo cual puede generar una inadecuada toma de decisiones.

El antecedente anterior es similar al presente estudio ya que parte de una revisión de literatura sobre la medición de productividad. Este análisis se complementa en el presente proyecto con la recopilación de percepciones por parte de profesionales de software que trabajan con métodos ágiles. Asimismo, se pretende construir un modelo basado en elementos de medición y en un proceso de IS los cuales serán aplicables al contexto de la agilidad.

Ramírez y Oktaba [28] determinan el impacto de la madurez del equipo en la productividad en el desarrollo ágil de software cuyo diseño utilizado fue el descriptivo correlacional aplicado a 62 personas de nueve equipos de desarrollo ágil de software a través de entrevistas y cuestionarios para medir la madurez del equipo y la productividad. La investigación parte de un mapeo sistemático para determinar los factores que influyen en la productividad en los equipos ASD a través de 25 fuentes primarias. La revisión de literatura realizada sugirió que la madurez del equipo está relacionada con la productividad en ASD, sin embargo, este tópico no ha sido estudiado a profundidad en Ingeniería de software.

Las similitudes con esta investigación radican en que parten de un mapeo literario sobre el tema de productividad y la recolección de datos con integrantes de equipos ASD. El proyecto que da lugar en este documento contempla estas dos actividades como una etapa inicial en la investigación adicionando la definición de los elementos de medición y la consolidación de un modelo basado en un proceso de ingeniería de software que contribuya a lograr dicho objetivo.

Tavakoli y Gandomani [29] proporcionan un modelo de productividad simple y aplicable enfocado a la productividad de equipo en entornos de *Extreme Programming (XP)*. La investigación parte por una revisión de literatura con el fin de identificar los factores que influyen en la productividad en cada una de las fases del método. Luego se recopilaron datos aplicando un enfoque selectivo a miembros de equipos ágiles *XP* a través de un cuestionario con 33 preguntas cerradas. Se recibieron un total de 58 respuestas de las cuales 55 fueron consideradas. Para analizar los datos recolectados emplearon el software estadístico SPSS. Durante el análisis de los datos aplicaron diferentes

pruebas como la prueba de Chi-cuadrado, el alfa de Cronbach y la prueba t univariante. El modelo propuesto se desarrolló con base en las características más influyentes que afectan la productividad del equipo (16 factores) siendo los de mayor impacto: motivación, colaboración y comunicación, participación del cliente y cultura personal; el cual se evaluó por 44 expertos y ganó suficiente aceptación.

Adicionalmente el artículo también resalta las prácticas más relevantes que impactan de forma positiva en la productividad de equipo en proyectos que trabajan con *XP* como la codificación estándar, la refactorización, las pruebas y la integración continua.

El estudio mencionado previamente tiene una relación estrecha con la presente investigación puesto que parte de una caracterización sobre el tema de productividad (lectura y recopilación de información en equipos de desarrollo ágil de software), continúan con el análisis resultados determinando características influyentes que afectan la productividad de equipo y las prácticas que inciden con dicho factor lo cual conllevan a la formulación de un modelo. No obstante, el modelo formulado por Tavakoli y Gandomani es netamente conceptual y es aplicado a contextos *XP* por lo cual esta investigación pretende abarcar a todos los equipos ASD sin discriminar por algún método ágil empleado y consolidarlo a través de un proceso de medición en Ingeniería de Software.

Fatema y Sakib [30] exploran los factores que influyen en la productividad del trabajo en un equipo de desarrollo ágil de software y como se relacionan. La investigación incluyó a 60 participantes de 18 empresas de software de Bangladesh. Se destacan dos fases dentro del proceso metodológico partiendo por una revisión de literatura y realización de entrevistas y encuestas con integrantes de equipos ágiles para identificar los factores de productividad; y en segunda instancia se inicia con la construcción de un modelo de dinámica de sistemas cualitativo (diagramas de bucle causal) con base en los hallazgos encontrados en la primera etapa. Los resultados obtenidos fue la identificación de los factores como la motivación, la eficacia y la gestión de equipo. De igual forma la falta de apoyo administrativo se encuentra como la principal razón para que un proyecto ágil falle.

El estudio anterior tiene una principal semejanza con esta propuesta de investigación la cual parte de una fase inicial relacionada con la revisión de literatura y realización de encuestas con integrantes de equipos ágiles para identificar elementos que aportan a la productividad. En segundo lugar, se evidencia la construcción de un modelo, sin embargo, el propuesto por los autores es de tipo cualitativo, razón por la cual este proyecto pretende formularlo a través de elementos de medición para la evaluación de productividad junto con un proceso de medición en IS que faciliten la comprensión de este y la aplicación en contextos ágiles.

De la misma forma, los autores en su trabajo [15] identifican y analizan los factores que influyen en la productividad del trabajo en un equipo ágil usando el enfoque de la dinámica de sistemas (SD). El estudio muestra los factores principales que influyen en la productividad y cómo impactan en el trabajo en un equipo ágil. La información se obtuvo a través de instrumentos de recolección el cual se limitó a 17 encuestados y 12 entrevistados de 17 empresas de software de Bangladesh. El estudio muestra los factores principales que influyen en la productividad y cómo impactan en el trabajo en equipo ágil para ello se llevan a cabo a través de entrevistas, encuestas y revisión de literatura. La metodología adoptada en esta investigación se fundamenta en la dinámica de sistemas, la cual posibilita la modelización de sistemas complejos al considerar todos los elementos que ejercen influencia a lo largo del transcurso del tiempo.

La aplicación del modelo de sistemas dinámicos permite establecer el funcionamiento del equipo, teniendo en cuenta sus factores blandos y efectos relacionados con los métodos que influyen en la productividad del trabajo en equipo. La investigación concluye que, a pesar de la creciente aceptación de los métodos ágiles, hay insuficiente investigación empírica sobre el efecto que puede propiciar los factores de productividad en el desarrollo de software.

Este estudio se asemeja con la presente investigación en la recolección de las percepciones de productividad en equipos ASD además de que se contrastan con una revisión de literatura. Sin embargo, estas actividades hacen parte inicial de la propuesta y se complementan con la construcción de un modelo el cual se fundamentará en un proceso de medición en ingeniería de software.

Las autoras Ramírez y Oktaba [31] indagan por investigaciones realizadas sobre el tema de productividad en equipos ASD, para identificar los factores, métodos, niveles, metodologías ágiles y el uso de métricas más usadas. Se realizó un mapeo sistemático (SMS) en el que incluyó 25 estudios primarios. El estudio permitió identificar los factores más importantes que afectan a la productividad en equipos ASD destacando la coordinación y liderazgo, tareas de ingeniería de software, comunicación, contexto organizacional, gestión de conocimiento y capacidad para emplear la experiencia del equipo en todo su potencial; además de que la productividad puede ser vista desde tres perspectivas a nivel de proyecto, de equipo y desde una visión general enfocada más al desarrollo ágil de software. Las métricas identificadas se relacionan más al tiempo, cantidad de trabajo producido, eficiencia, calidad del producto y satisfacción del cliente. Finalmente, la investigación arrojó que la metodología ágil más empleada es Scrum, el método de investigación usado con mayor frecuencia fue el Estudio de caso y las técnicas de recolección más destacadas fueron las entrevistas y cuestionarios. Los factores identificados se relacionan más con los procesos grupales y calidad de trabajo en equipo.

En el artículo anterior se identifica una relación con la presente investigación en la realización de un SMS de literatura apoyada por fuentes de datos. No obstante, en este proyecto se pretende que la revisión documental sea solo una etapa inicial dentro del proceso de construcción de un modelo de evaluación de productividad para equipos ASD la cual se complementará con actividades como con la caracterización de percepciones en profesionales de desarrollo ágil de software, la identificación de los elementos de medición de productividad y la definición del proceso de medición para la evaluación de este indicador.

Terán y otros [18] determinan objetiva y cuantitativamente la productividad del desarrollo de software a nivel individual y en grupos de trabajo, con el fin de establecer métricas para la medición de este factor en empresas de Software ecuatorianas. La investigación propone un primer acercamiento a una medición del esfuerzo requerido en la construcción de un producto software a partir del tamaño de lo que se desee construir (modulo, funcionalidad, servicio, etc.) y su complejidad asignando un valor a través de “número de unidades de software”. Con el conjunto de métricas descritas a través de la medición e interpretación de estrategias se contribuye a mejorar la productividad en las empresas de desarrollo de software sin entorpecer las operaciones diarias, mejorar la competitividad en el sector de software en Ecuador y que sirva como base a nuevas propuestas encaminadas a la formulación de indicadores de productividad.

El estudio efectuado por Terán y Otros tiene semejanzas con el trabajo investigativo que se evidencia en este documento en definir formas que contribuyan a la evaluación de productividad, sin embargo, en el presente proyecto se parte de un proceso de caracterización sobre las

percepciones de productividad la cual se centra a nivel de equipo en el desarrollo ágil de software para continuar con los elementos de medición y finalmente la construcción de un modelo.

El autor Fiallos Ordoñez [32] demuestra mediante un prototipo orientado a la web y el análisis de métricas en Ingeniería de Software (IS) la importancia que tiene los métodos ágiles conjunto con herramientas de software libre para incrementar la productividad en el proceso de desarrollo de software. El estudio detalla la aplicación de encuestas a 31 empresas del sector Software, sobre la cual participaron propietarios, desarrolladores y líderes de proyecto. Para la medición de la productividad en el desarrollo de software y otras variables relacionadas como Esfuerzo, Costo y Tiempo, la investigación aplica métricas del modelo matemático COCOMO 2.0 y Puntos de función. El desarrollo del prototipo de aplicación web se desenvuelve en un contexto de Arquitectura Dirigida por Modelos (por sus siglas en inglés MDA), empleando tecnologías de software libre como AndroMDA, Eclipse, JBoss, Herramientas de modelado, gestor de base de datos MySQL, Hibernate e implementando bajo la plataforma J2EE. En cuanto a los resultados obtenidos en la construcción del prototipo funcional aplicando un marco de trabajo ágil y usando tecnologías de software libre, se evidenció una reducción del 71,75% para esfuerzo, 71,75% para costo, 10% para tiempo, y 11,29% para líneas de código y la productividad mejoro en un 72,5%.

Las semejanzas del estudio efectuado por Fiallos Ordoñez con esta investigación se presentan en que se trabaja una propuesta para medir la productividad dentro del desarrollo ágil de software junto con la aplicación de instrumentos de recolección de información sobre esta temática. Sin embargo, las diferencias radican a que este proyecto pretende centralizarse en los equipos ASD y parten de un mapeo sistemático de literatura para continuar con la forma de evaluación de productividad a través de un modelo que incluirá un proceso de medición en IS.

Los autores Shah y otros [22] identifican medidas de productividad ágiles. Se analizaron 124 artículos de los cuales 12 de ellos estaban relacionados con métricas de productividad ágiles. Para este estudio los autores consideraron diferentes métodos de investigación, pero optaron por efectuar un estudio exploratorio al ser un tema muy poco analizado hasta el momento. Las medidas de productividad encontradas tras el estudio del arte no satisfacen del todo las percepciones de agilidad que se requieren. Las métricas mayormente empleadas en el desarrollo ágil son las relacionadas con las líneas de código y las de puntos de función, sin embargo, no son pertinentes a las prácticas que la agilidad propone.

La principal similitud del estudio con la investigación se sintetiza en la recolección de información sobre la noción de productividad en el desarrollo ágil de software a través de la revisión de literatura lo cual contribuye a determinar formas de medición relacionadas con el tema. En la actual investigación se pretende caracterizar las percepciones de productividad en equipos ASD y a su vez contrastarlas con lo obtenido en la lectura y análisis documental a fin de establecer los elementos de medición y formular el modelo de evaluación de productividad de acuerdo con técnicas de ingeniería de software.



## B. SUPUESTOS TEÓRICOS

La Fig. 1 realiza una síntesis conceptual de los referentes teóricos abordados en esta sección.

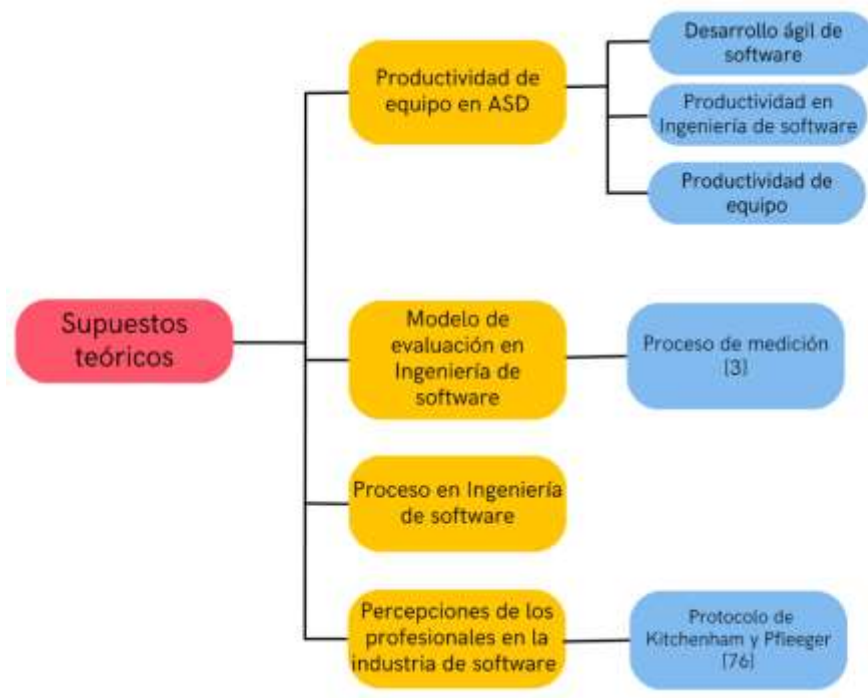


Fig. 1. Síntesis conceptual de supuestos teóricos  
Fuente: Elaboración propia

### 1) Productividad de equipo en el Desarrollo Ágil de Software

El software se ha convertido en una tendencia dentro del mundo globalizado y es por lo que, las industrias de TI han llegado a ser las protagonistas del mercado. Cada organización encargada de desarrollar software ofrece sus productos y servicios a un conjunto de clientes, siempre pensando en cumplir con sus expectativas.

La era de la transformación digital ha propiciado que las empresas contemplen un cambio de mentalidad que permita entender las necesidades de sus usuarios. Es por eso que la agilidad ha cobrado un sentido relevante dentro de esta nueva reinvención haciendo que las organizaciones aprendan y se adapten con mayor flexibilidad [2].

El uso de métodos ágiles genera diferentes beneficios dentro de las organizaciones que los adoptan. Uno de ellos es el incremento de la productividad de equipo tal y como afirma el 14th Reporte Anual del Estado de la Agilidad [33] en el año 2020.

La productividad de equipo en el desarrollo ágil de software es un concepto complejo, que para efectos de comprensión se despliega a través de los elementos que lo componen. Inicialmente se define el desarrollo ágil de software (ASD por sus siglas en inglés). En segundo lugar, la evolución del término productividad y productividad en Ingeniería de Software (IS). Se continúa por definir qué significa un equipo de desarrollo de software dentro del ámbito de la agilidad. Se finaliza construyendo el concepto de productividad de equipo en ASD.

El desarrollo ágil de software (ASD) fue introducido por un grupo de 17 expertos [1] en el año 2001 y surge como un esfuerzo para superar diferentes problemas y dificultades presentados en el desarrollo de software tradicional [18], [34].

La cultura de la agilidad se ha incorporado en la industria del desarrollo de software ya que la adaptación al cambio y la transparencia en los procesos ha permitido ampliar su filosofía de trabajo, la relación con las partes interesadas se vuelve más agradable, y las entregas iterativas y constantes permiten visualizar de manera más detallada el avance de cada proyecto.

A diferencia de los métodos tradicionales las cuales proponían ser muy rígidos para cumplir con el propósito planteado, y cuyos periodos de desarrollo eran muy largos e inclusive costosos, el ASD trae una nueva perspectiva de equilibrar la flexibilidad con la estabilidad, capacidad para responder el cambio, combinar la creatividad e innovación del equipo de desarrollo y liderar proyectos a pesar de las dificultades y la incertidumbre [1]. Para que las organizaciones adopten y promuevan el desarrollo ágil este debe ser más productivo que las prácticas tradicionales como el desarrollo en cascada [35].

La aplicación de métodos ágiles y sus principios generan beneficios a medida que se incorporan en un equipo u organización, propiciando el aumento de la productividad y, por tanto, mejoran la competitividad [18].

El ASD expone doce principios que se encuentran establecidos en el Manifiesto Ágil [36]. Estos principios se relacionan directamente con los valores del pilar de la agilidad, donde se priorizan los individuos y las interacciones por encima de los procesos y técnicas, el software funcional sobre una excesiva documentación, la colaboración con el cliente sobre una rigurosa negociación, y la respuesta al cambio sobre el seguimiento estricto de un plan [36].

Según los autores Qumer, Henderson-Seller y Conboy [1], el desarrollo ágil de software se relaciona con atributos de la agilidad como la flexibilidad relacionada a la capacidad para adaptarse a los cambios cuando estos surjan y estar preparados para ser asimilados en el momento que se requiera; la velocidad como una característica para obtener resultados rápidos y alcanzar las metas propuestas; simplicidad para obtener resultados de calidad en el menor tiempo posible; aprendizaje a través del conocimiento actualizado, experiencias en prácticas previas y mejora continua; y la capacidad de respuesta frente a diversas situaciones, saber actuar y responder a ellas.

Hoy en día las empresas de TI (equivalente al 49%) de las industrias del mercado emplean metodologías ágiles en sus proyectos, según lo muestra el *Agile Adoption Report 2020* [16], siendo Scrum el método ágil más familiarizado, seguido de Kanban y en tercer lugar DevOps. Además, uno de los principales motivadores para emplear prácticas ágiles es contribuir a la satisfacción del cliente junto con las razones de acelerar la entrega de productos o servicios, mejorar la alineación entre el negocio y TI y optimizar la calidad del software [16].

Por otra parte el 14th Reporte Anual sobre el Estado de la Agilidad [33], un documento consolidado con las percepciones de más de 40.000 ejecutivos, profesionales y consultores de diferentes organizaciones destaca los cinco beneficios que genera la implementación de modelos ágiles como lo es la continua gestión a los cambios, una adecuada alineación al negocio, el incremento de la moral en los participantes, mayor velocidad de entrega / tiempo para mercado y mayor productividad dentro del equipo [33]. Las áreas en las que en un mayor porcentaje se aplica prácticas y principios ágiles, es en el desarrollo de software y en el área de TI. De igual forma, un 58% de los encuestados respondieron que una de las razones por las que elegían incorporar la

agilidad en sus actividades era por el incremento de la productividad siendo un beneficio que ellos mismos evidenciaron en la realización de sus actividades organizacionales [33]. Finalmente entre las técnicas empleadas en las organizaciones que contribuyen a afianzar sus principios y valores se resaltan las reuniones diarias, la reunión de retrospectiva, la planeación del sprint/iteración, la revisión del sprint/iteración y las iteraciones cortas con entrega de valor [33].

Para la presente investigación el desarrollo ágil de software surge como una oportunidad para las organizaciones de reinventarse e introducirse hacia un mundo de transformación digital y cultural, donde los equipos emplean las herramientas y tecnologías para desenvolverse en un entorno de aprendizaje y mejora continua, y la rigidez e incertidumbre que los métodos tradicionales evidenciaban durante el proceso de desarrollo de software, ya no es un obstáculo para el logro de los objetivos.

El ASD propicia una nueva mentalidad donde la flexibilidad y adaptabilidad contribuyen a visualizar de forma más cercana la evolución de un proyecto, y la comunicación y el acercamiento con el cliente y sus necesidades facilitan la realización de cambios y generan entregas con valor de forma iterativa e incremental.

El concepto de productividad ha venido evolucionando a lo largo del tiempo, cuyos orígenes se remontan desde finales del siglo XVIII cuyo enfoque era netamente económico. El término se usa en diferentes contextos y relaciona dos dimensiones relevantes: cantidad y calidad. Estas dimensiones pueden aplicarse en una organización combinando características y técnicas que permitan alcanzar dicho propósito, produciendo bienes o servicios y empleando la menor cantidad de insumos posibles [37].

Existe una paradoja para definir formalmente el término de productividad debido a las posturas encontradas en diferentes campos de acción. Algunas de estas definiciones recaen sobre tres categorías: Los tecnólogos detallando como “la relación entre productos e insumos gastados para lograr un objetivo”; los ingenieros sobre “la relación entre la producción real e ideal de un proceso” y los economistas como “la utilización adecuada o eficiente de recursos” [38].

Cabe resaltar que la productividad no es solo la potencialidad con que se llevó a cabo una actividad para alcanzar una meta, es necesario evidenciar su aplicabilidad dentro de las organizaciones, la cual debe gestionarse de forma estandarizada y empleando una medición adecuada [38].

En ingeniería de software el término de Productividad tiene sus orígenes a finales de la década de los 70, a partir de ese momento el estudio por este tema se ha centralizado en posiciones orientadas a la estimación y planificación de proyectos de igual manera que en las organizaciones, sectores e industrias. Sin embargo, la productividad trae consigo muchos más elementos como lo es la interacción con las personas, la visión individual y grupal y las características inherentes al puesto de trabajo las cuales en este ámbito se evidencia la ausencia de investigación [20].

Por otra parte, la productividad se ve influenciada bajo las mismas fórmulas que se emplean para la medición de un proyecto [39]. Por ejemplo, una de ellas relacionada con el tamaño del software definido como la cantidad de líneas producidas o funcionalidades desarrolladas. Sin embargo esta concepción se vuelve compleja puesto que el tamaño del software puede variar de acuerdo al lenguaje y estilo de programación utilizado [23].

Otra perspectiva se genera con la relación entre lo producido : unidades de software generadas respecto a los medios empleados: unidades de tiempo, personas, equipos, herramientas y tecnología

que se requirieron [23]. Aunque es complicado dimensionar el tamaño real del software pese a las métricas existentes, este también puede variar debido a la forma en como el equipo de desarrollo abordó el problema y las técnicas que uso para resolver la situación.

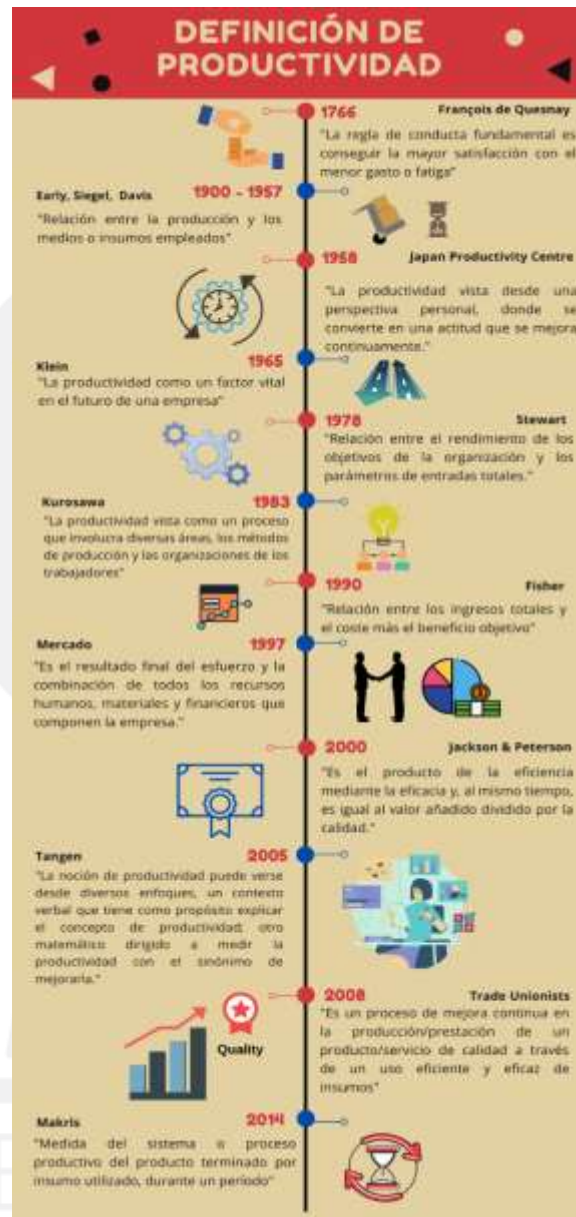


Fig. 2. Línea de tiempo del concepto de productividad

Fuente: una adaptación de Estellés, Moreno y Tangen [40],[41],[42]

Las industrias de software consideran a la productividad como un factor vital dentro de sus procesos ya que les permite desarrollar software de alta calidad a un bajo costo. Adicionalmente se toman en cuenta dos criterios: una entrada basada en la mano de obra requerida para producir software y el tiempo que estas invierten en dichas tareas y una salida relacionada con el volumen (tamaño) de software generado [43].

Hernández-López *et al* en su trabajo [39] detalla que sin la medición de productividad, las empresas de desarrollo de software carecen de un indicador para comparar los resultados de sus proyectos de forma interna como externa, lo cual a pesar del tiempo este sigue un gran reto.

Oliveira *et al.* [43] exponen que para aumentar la productividad es necesario recurrir a cualquiera de estos dos puntos de vista:

- a) Reducir el esfuerzo invertido en el proceso de desarrollo
- b) Aumentar la cantidad de software desarrollado

Para cualquiera de los criterios mencionados es necesario involucrar al equipo de trabajo donde cada integrante participa dentro del proceso de desarrollo llevando a cabo una tarea en alguna de las etapas concernientes (análisis, diseño, construcción, pruebas) y que además mediante nuevos métodos, técnicas o herramientas se alcance una mayor productividad.

Algunas de las definiciones de productividad en Ingeniería de Software se muestran a continuación:

TABLA I.

LÍNEA DE TIEMPO: DEFINICIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

Año	Definición de productividad en IS	Autor
1992	La productividad vista desde tres perspectivas [44]: <b>Perspectiva de desarrollo:</b> Incluye requerimientos, implementación, verificación y validación, y se refleja por la cantidad de líneas de código generadas. Para las salidas reflejadas en líneas de código, la definición de medida varía de acuerdo con el proyecto que se esté ejecutando de la misma forma que las entradas considerando al esfuerzo como un factor fundamental que depende de muchas variables, incluyendo al personal seleccionado, prácticas empleadas, etc. <b>Perspectiva del usuario:</b> Considerando a los puntos de función como una representación del valor entregado al usuario. <b>Perspectiva de gestión.</b> El cual se evidencia una relación entre la gestión del proyecto y la gestión empresarial traducido a valor del negocio, dinero generado, recursos empleados, complejidad del trabajo a realizar por determinado tiempo y costos de tecnología e infraestructura.	Dale y Van der Zee
1992	La productividad se mide como la relación de unidades de producción (código fuente y la documentación) dividida por unidades de entrada (esfuerzo empleado para generar el producto software) [45].	IEEE 1045-1992
1994	Productividad como número de puntos de función por mes. [46]	C. Jones
1996	La medición de productividad indicada por el número líneas de código (LOC) del tamaño del programa por mes. [47]	Blackburn
1996	La productividad se calcula como el tamaño del software dividido por el costo gastado para desarrollarlo, tomando al tamaño como el número de líneas de código generadas (SLOC) y como medida de costo al total de horas dedicadas a las fases de desarrollo. La medición de productividad indicada (SLOC / Hora) [48].	P. Devanbu; S. Karstu; W. Melo; W. Thomas
1996	La medida de productividad como la cantidad de trabajo completado por cada hora de esfuerzo para cada tecnología [49].	Kieburzt y otros.
1997	La productividad como el promedio de sentencias lógicas de código generadas por mes calendario durante el ciclo de desarrollo del producto. La productividad es calculada dividiendo el tamaño del software por el tiempo del ciclo. [50]	J.A. Lane; D. Zubrow
2002	Productividad del desarrollador como la cantidad de solicitudes de actualización y líneas añadidas de código por año. [51]	Mockus, Fielding y Herbsleb

Año	Definición de productividad en IS	Autor
2003	La productividad en IS es comúnmente medida como la cantidad de líneas nuevas de código (LOC) que son desarrolladas por persona al día. [52]	MacCormack, Kemerer, Cusumano, Crandall
2004	Relación simple entre salidas y entradas. La salida representada como el tamaño del producto y el esfuerzo del proyecto como la entrada. Si se puede medir tanto el tamaño del producto de software como el esfuerzo requerido para desarrollar el producto (entrada) se tiene: <b>Productivity = Size/Effort</b> , donde el resultado es fácil de obtener si se tiene una medida de tamaño determinada como lo puede ser la cantidad de líneas de código generadas, en caso contrario se debe considerar las circunstancias en las que el esfuerzo se relaciona con diferentes medidas de tamaño. [53]	Kitchenham y Mendes
2005	El desarrollo de software es un proceso centrado en las personas influenciado por diversos aspectos sociales y técnicos, por lo que definir el concepto de productividad es bastante complejo [42] . Adicionalmente la productividad puede verse influenciada por la metodología de desarrollo a incorporar.	Tangen
2006	El cálculo de la productividad comparando la cantidad de edición de código que efectúan los programadores con la cantidad de navegación y búsqueda [54].	Mik Kersten, Gail C. Murphy
2007	La medida de productividad se entiende comúnmente como una relación entre los productos producidos y los recursos consumidos, sin embargo, el tamaño del producto y los recursos deben seleccionarse cuidadosamente ya que la productividad debe verse desde múltiples perspectivas para obtener una verdadera comprensión de ella junto con factores que puedan influenciar (Cambio de requisitos, deseconomía de escala, reparación posterior a la entrega y reutilización de software) [55].	David Card
2007	Productividad expresa la relación entre las salidas (características o funciones) y entradas (tiempo y esfuerzo) [12].	Ebert y Dumke
2008	Funciona como indicador que contribuye a visualizar la evolución y estado del proceso y producto software de la misma forma que las personas que intervienen en ello[56].	Mei He, Mingshu, Li, Qing Wang, Ye Yang, Kai Ye
2008	La medida de la productividad como el tiempo en días, que tardó en resolver una solicitud de modificación (MR) en particular. [57]	Cataldo, Herbsleb, Carley
2009	La perspectiva industrial de productividad vista como la relación de unidades de salida dividida por unidades de entrada fue tomada en el desarrollo de software y se la define como productividad o eficiencia. En una encuesta internacional realizada por el Instituto Fraunhofer de Ingeniería de Software Experimental en el año 2006 se encontró que el 80% de las organizaciones adaptan la concepción industrial de productividad al desarrollo de software suponiendo que medir la productividad de software es igual a medirla en cualquier tipo de contexto; donde las entradas se relacionan con el esfuerzo invertido para generar las salidas las cuales se reflejaran en entregables de software. Sin embargo, la productividad en el desarrollo de software es más compleja de evaluar puesto que es una actividad que requiere conocimiento humano y habilidades blandas que pueden generar incertidumbres en el camino y adicionalmente las industrias de software desarrollan nuevos productos de acuerdo con las necesidades de un cliente en lugar de fabricar el mismo repetidas veces. No existe un conceso para la medición de productividad ni el desarrollo de software tradicional o en el ágil ya que este es una actividad humana que involucra diferentes elementos [58].	Adam Trendowicz y Jürgen Münch
2010	La productividad de los desarrolladores de software está dada en términos de número de tareas o modificaciones efectuadas por mes alcanzadas. La productividad, funciona como la medida de rendimiento del desarrollador [59].	Zhou y Mockus

Año	Definición de productividad en IS	Autor
2011	<p>La productividad, que se define como la cantidad de líneas generadas por persona al mes.</p> $Productividad = \frac{KSLOC}{PM}$ <p>Donde, PM es el esfuerzo del proyecto medido por persona al mes. KSLOC es la cantidad de líneas de código fuente o declaraciones lógicas generadas [60].</p>	Vu Nguyen, LiGuo Huang, Barry Boehm
2011	<p>La productividad se define comúnmente como la relación de producción (funciones, líneas de código, cambios implementados) dividido por entrada (esfuerzo empleado para generar las salidas) [61]. La productividad juega un papel importante dentro del proceso de desarrollo de software.</p>	Petersen
2011	<p>Existen otros conceptos que envuelven al termino de productividad tales como lo son rendimiento, eficacia y eficiencia [62]. La medición de la productividad del software es definida como la relación de producción (líneas de código, puntos de función o características implementadas) dividido por entrada (esfuerzo de tiempo). Cabe destacar que el desarrollo de software implica el uso de conocimiento y en este caso la productividad es compleja de evaluar. Complementariamente la productividad de software puede verse afectada por diferentes aspectos tales como características del proyecto, complejidad del producto o inclusive habilidades con las que cuenta cada integrante del equipo de trabajo.</p>	Melo Claudia
2012	<p>La productividad en IS está ligada con la entrega de un producto software. Para medirla se ha visto influenciada por los supuestos de estimación usados en la dirección de proyectos. [39]</p>	Hernández, A., Colomo, R., & García, A.
2012	<p>La productividad del software es un factor importante para la calidad del software puesto que su medición apoyaría a los gerentes a determinar la eficacia de sus desarrolladores de la misma forma que les permite evaluar y comparar el desempeño entre diferentes organizaciones facilitando la toma de decisiones [63].</p>	Cheikhi, Qutaish & Idri
2014	<p>El estudio destaca 4 definiciones de productividad para cada uno de los siguientes niveles [20]: Para la <b>Industria de Software</b>, la productividad está asociada con la comercialización de un producto con altos estándares de calidad, empleando los recursos que crea convenientes, efectuando el trabajo que se propone a fin de alcanzar los objetivos planteados en un determinado tiempo. Dentro de un <b>Proyecto de Desarrollo de Software</b> se relaciona con el seguimiento y evolución que puede presentar un proyecto software teniendo en cuenta la calidad dentro del proceso. Para ello se hace uso los recursos con el fin de disponer de entregables, resolviendo los posibles errores que puedan presentarse sin alterar el cumplimiento de los objetivos, dentro del tiempo acordado. Para el <b>jefe de Proyecto Software</b> la productividad se logra cuando el trabajo se ha llevado a cabo de la mejor manera posible, gestionando los recursos disponibles y solucionado las posibles dificultades presentadas en un tiempo asignado. Finalmente, para el <b>Ingeniero de Software</b> la productividad se alcanza con el cumplimiento del trabajo con calidad, resolviendo los problemas y posibles errores presentados dentro del tiempo especificado.</p>	Hernández López
2016	<p>El desarrollo de software es esencialmente una actividad humana. El estudio [43] toma de la literatura la medida sobre la productividad como la tasa de unidades de producto generadas (tamaño del software) sobre alguna unidad de esfuerzo (personas y tiempo). Sin embargo en [43] según las percepciones del gerente de proyecto de software sobre productividad en los desarrolladores</p>	Oliveira

Año	Definición de productividad en IS	Autor
	de software están influenciadas por cuatro factores tales como: <sup>1</sup> tareas entregadas a tiempo, <sup>2</sup> artefactos producidos sin necesidad de reelaborarlos, <sup>3</sup> productos que cumplen las expectativas de los interesados y <sup>4</sup> compromiso personal junto con proactividad.	
2017	A pesar de que la noción de productividad se la relaciona como el número de unidades de software que se generan respecto a los mecanismos usados, no existe una concepción estándar para medir la productividad ya que tanto el tamaño del software como el equipo de desarrollo agregan complejidad para formalizar un concepto unificado puesto que diversos factores pueden influir en ello [23].	Maldonado Arango
2018	La productividad relacionada con el esfuerzo requerido para cumplir tareas [27].	Castañeda Vargas
2019	La productividad es una noción multidimensional que funciona como un indicador del éxito de un proyecto [26].	Iqbal, Omar & Yasin
2021	La productividad del desarrollador de software es un término fuertemente indagado y existen diversos mitos al respecto sobre su medición y evaluación. Cabe resaltar que la productividad no se puede reducir a una sola dimensión o métrica [64].	Forsgren, Storey & otros.

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes citadas en la tabla.

A partir de las posturas expuestas por diferentes autores en la Tabla I, se puede establecer que el concepto de productividad para esta investigación se define como la relación entre las salidas generadas tras un proceso de construcción de software y los insumos que contribuyeron a la obtención de dichos resultados. Además, la productividad funciona como una medida de evaluación para el equipo de desarrollo de software determinando como es su desempeño en un momento dado y la eficiencia con la entrega de sus tareas.

Por otro lado, un equipo de desarrollo de software está conformado por profesionales [23], los cuales poseen un conjunto de habilidades y destrezas, con el conocimiento suficiente para desempeñar tareas y que se comprometen para alcanzar un objetivo propuesto [24], [34].

Entre las cualidades que deben poseer los equipos de desarrollo de software se resalta el trabajo colectivo el cual se debe complementar con la comunicación, colaboración, motivación, compromiso y la transferencia de conocimiento [24]. De acuerdo con De Marco y Lister [1], los miembros de los equipos que están fuertemente unidos tienden a ser más productivos y motivados. Estos equipos comparten una meta y una cultura común, lo que los impulsa a trabajar de manera activa y colaborativa. Dependiendo del tipo de equipo que se consolide estos producen diferentes niveles de rendimiento y eficacia [65].

Durante los últimos años el desarrollo ágil de software se ha convertido en una alternativa para resolver dificultades que se presentan cotidianamente en un proyecto de software [34]. De allí emerge el concepto de equipos ágiles, siendo aquellos que combinan la autoorganización y la autonomía en sus actividades cotidianas, lo cual se refleja en el aprendizaje continuo y compartido entre sus participantes. Además, los equipos tienen la capacidad de tomar decisiones y asumir riesgos para alcanzar sus objetivos. Aprovechan diversas herramientas tecnológicas, su conocimiento y experiencia para lograrlo. Trabajan de manera comprometida y con autogestión para desarrollar entregables en periodos de tiempo cortos, demostrando así un alto nivel de compromiso y responsabilidad [2].



Dependiendo del modelo ágil que se esté empleando, el equipo tiene un mayor nivel de autonomía para realizar sus tareas [34], por ejemplo, para Scrum, el equipo es una unidad fundamental y cohesionada de profesionales enfocada en el objetivo del Producto [13] y tiene una notable libertad para tomar decisiones administrativas y técnicas necesarias para asegurar el cumplimiento del proyecto [34]. Además son autogestionados, lo que significa que internamente deciden quién hace qué, cuándo y cómo [13].

Un equipo se compromete para lograr una meta la cual comparten como un propósito común [66]. Cuando la productividad alcanzada en un equipo es mayor a la suma de la productividad de los miembros individuales, el equipo llega a ser eficaz [66],[67]. Para que la productividad se gestione de forma eficaz es importante identificar los problemas que se presentan y desarrollar estrategias para enfrentarlos, tomando la mejor solución al respecto [68].

Un equipo de desarrollo de software debe considerar dentro de la realización de sus actividades la medición y mejora de la productividad [43],[69]. Para lograrlo es necesario conocer el comportamiento y esto se puede concretar a través de métricas las cuales son una forma de recopilar información relevante que permiten tener conocimiento sobre el desempeño del equipo y determinar la forma de trabajo de manera objetiva [69].

Cabe resaltar que dentro del proceso de desarrollo de software, la productividad del equipo es un reto y una preocupación seria en la industria del software, puesto que es esencial para alcanzar el éxito de un proyecto [15] ,[26] y estimar de forma objetiva el desempeño de cada uno de sus participantes. Sin embargo, a causa de la cantidad de métodos existentes no se ha logrado unificar un modelo que garantice su medición [29].

En los últimos años, la productividad del equipo ha ganado más atención debido a la creciente competencia entre las empresas de software [70] ya que esta permite conducir a una mejor estimación de tiempo y costo en el proceso de desarrollo de software [29] y generar una ventaja competitiva enfocada en una toma de decisiones pertinente.

Un factor fundamental para lograr el éxito de un proyecto de desarrollo ágil de software es a través de un equipo altamente productivo. Para ello es importante conocer el comportamiento que tiene el equipo y seleccionar las prácticas ágiles que permiten alcanzar la productividad deseada [15]. Asimismo, la productividad en un equipo ASD se ve influenciada por diversos factores que pueden cambiar en el tiempo y surgen durante el proceso de desarrollo de software [68].

Los métodos ágiles generan una mayor productividad en relación con los tradicionales [21],[23], junto con la entrega de software de alta calidad [21], atrayendo la atención de las empresas, que exigen una mayor velocidad en el desarrollo en sus productos [21]. De igual manera existen diversos factores e inclusive comportamientos relacionados con los pilares del corazón de la agilidad propuestos por Cockburn [23] que pueden contribuir a incrementar la productividad.

Por ejemplo, el Pilar de Entrega constante de producto con valor, propone que las entregas incrementales contribuyen a la detección temprana de errores y a la reducción de la incertidumbre en el proyecto, lo que a su vez propicia la disminución de costos y tiempo. Factores de productividad como la planeación donde se determina las funcionalidades a realizar durante cada iteración y dedicarse exclusivamente a ellas; la priorización por valor donde al desarrollarse las funcionalidades de mayor importancia para el cliente se podrá alcanzar un mayor ingreso para la organización en etapas tempranas del proyecto; y el *Time Boxing* donde los participantes de un

equipo se ajustan a unos tiempos para realizar entregas del producto; contribuyen a incrementar la productividad [23].

El pilar de Continua Inspección y Adaptación del producto junto con los factores relacionadas con el perfeccionamiento y mejora continua donde los miembros del equipo identifican plenamente los elementos que aportan más valor para el cliente y dirigen su esfuerzo al logro de ello junto con el desarrollo de software Iterativo e incremental incentivan la productividad [23].

El pilar de Colaboración donde el trabajo en equipo acompañada de una relación y comunicación con el cliente son una prioridad. Factores como la composición del equipo, la capacidad del equipo para gestionar su trabajo de forma autónoma y tomar decisiones en el momento que se requiera, la multifuncionalidad, la comunicación directa y cara a cara y la transparencia funcionan como elementos fundamentales para la productividad [23].

Finalmente el pilar de Mejoramiento continuo fundamentado en ciclos de retroalimentación cortos que sirvan para examinar y evaluar el rendimiento del equipo y motivarlo a realizar sus actividades de la mejor forma posible; donde la excelencia técnica, los equipos altamente motivados por las actividades que realizan, la introspección del equipo para analizar sus puntos fuertes y débiles en busca de la mejora continua, el aprendizaje de la experiencia grupal e individual y los factores externos relacionados con la cultura organizacional pueden ser claves para el aumento de la productividad [23].

La mejora de la productividad es fundamental en todo el proceso de ASD, para el caso de la construcción de software las principales prioridades radican en aumentar la cantidad de software desarrollado y que el tiempo de entrega sea el menor posible; y en la situación del mantenimiento de software es una necesidad clave lograr la reducción significativa de los recursos consumidos [28].

Según Hulkko y Abrahamsson la productividad en el desarrollo ágil de software se puede determinar como la proporción de las líneas de código lógico producidas y el esfuerzo invertido [71]. Sin embargo, la medición de productividad se vuelve un elemento de mayor complejidad cuando el equipo ASD realiza actividades relacionadas con el conocimiento cuya salida es más un producto intangible y difícil de evaluar [15], [68].

En Ingeniería de Software, la productividad se determina mediante la relación entre la cantidad de software desarrollado y el esfuerzo o tiempo empleado. Tomando esta postura para ASD, la cantidad de software desarrollado se traslada a términos de líneas de código, puntos historias o número de elementos logrados [28]. Asimismo, siguiendo la perspectiva de la agilidad, para maximizar la productividad es importante generar el mayor valor posible con la menor cantidad de recursos [72].

Obtener una medición exacta de productividad en entornos ASD es complejo debido a las diversas percepciones que existen sobre este tema. Sin embargo, autores como Ramírez-Mora y Oktaba [31] definen que la productividad en equipos ASD tiene que ver con puntualidad, la cantidad de trabajo producido, la eficiencia, la calidad del producto y la satisfacción del cliente.

En síntesis, para esta investigación el concepto de productividad de equipo en ASD se entiende como un indicador que permite evaluar los resultados obtenidos por parte de un equipo de desarrollo de software tras la construcción de un producto software funcional que cumple las expectativas de un cliente. Para el logro de ello, invierte tiempo y esfuerzo que puede derivarse de

diversos factores tanto internos como externos, capacidades y habilidades las cuales también pueden involucrar el conocimiento.

Complementariamente la productividad en entornos ágiles puede verse influenciada de acuerdo con las prácticas que el equipo este adoptando del método(s) ágil seleccionado, puesto que algunas de ellas pueden propiciar la mejora significativa de este indicador. La productividad está ligada con el rendimiento y comportamiento que cada integrante de un equipo ASD desempeñe frente a las tareas asignadas y con su evaluación se puede generar información significativa que facilite la toma de decisiones tanto para el equipo como para la organización.

## **2) Modelo de evaluación en Ingeniería de Software**

La evaluación según la Real Academia de la Lengua española se define como la acción y efecto de evaluar, lo cual significa estimar, apreciar, calcular el valor de algo [73]. Para el caso del proceso investigativo la medición en Ingeniería de Software (IS) es fundamental para poder evaluar.

Para poder definir el concepto de medición en IS se debe contextualizar el término de forma general. Según [3] la medición es el proceso mediante el cual se describen atributos de entidades del mundo real siguiendo unas reglas establecidas y los cuales pueden ser definidos a través de números o símbolos.

Una entidad es un evento, un objeto o persona del mundo real las cuales tienen características particulares que la diferencian de otra entidad. Dichas propiedades se denominan atributos las cuales son medibles cuando hacen parte de una entidad y se definen a través de números o símbolos como abstracciones que reflejan las percepciones de un contexto real.

Complementariamente la medición contribuye a que los conceptos sean más comprensibles y controlables y aquellos elementos que no se pueden medir, cuenten con alternativas para que se conviertan en medibles [3].

La intuición es el primer acercamiento para efectuar la medición la cual se formaliza a través de la observación, comparaciones que se efectúan entre entidades para finalmente realizar una medición más centralizada empleando herramientas especiales para el logro de dicho propósito.

Además, los datos que se obtienen como medidas deben representar atributos de las entidades que se observan en el mundo real, y la manipulación de los datos debe permitir conservar las relaciones entre las entidades [3].

El proceso de medición establecido por [3] inicia cuando se identifica la entidad que se quiere medir y el atributo a caracterizar. Posteriormente se debe continuar por identificar las relaciones empíricas que se pueden establecer entre las entidades en relación con el atributo objeto de estudio. Dichas relaciones pueden ser unarias destacando los atributos de una sola entidad en particular; binarias comparando una entidad con otra de acuerdo con sus atributos, e inclusive ternarias donde se agrupan conjuntos de elementos para establecer un balance entre ellos. Si en algún momento no tiene claridad sobre las relaciones empíricas de un atributo se pueden emplear escalas de valoración subjetiva que contribuyen a establecer una comprensión en común de lo que se quiere medir, caracterizando propiedades de modo que la medición formal pueda ser posible en el futuro. Como paso siguiente se debe establecer una valoración numérica correspondiente a cada relación empírica que se haya definido. Luego se debe definir el mapeo de entidades del mundo real a números para finalmente comprobar que la medición establecida no resulte inconsistente con las relaciones

observadas. Cabe resaltar que el mundo real es el dominio del mapeo y el mundo matemático es el rango.

Al llevar a cabo el análisis de los resultados se puede clarificar y reevaluar el atributo junto con las relaciones de las entidades haciendo de estas mucho más pertinentes al contexto de estudio, obteniendo una mayor comprensión y precisión [3].

La Fig. 3 resume el proceso de medición en sus 5 fases.



Fig. 3. Etapas dentro del proceso de medición  
Fuente: una adaptación de la propuesta de Fenton y J. Bieman [3]

Ahora bien, la medición en Ingeniería de software es un componente fundamental para evaluar las características y atributos del software dentro del ciclo de vida del proyecto [3]. De la misma forma que las organizaciones emplean medidas de evaluación para seleccionar a sus proveedores, los clientes usan la medición para evaluar si el producto software cumple con las condiciones que fueron establecidas desde un inicio.

La medición contribuye a determinar que está sucediendo durante todo el proceso de desarrollo, efectuando un diagnóstico de la situación actual, facilitando una comprensión de relaciones entre actividades y las entidades a las que afectan y estableciendo metas para el comportamiento futuro. Por otra parte, la medición es una alternativa viable para comprender los atributos tanto tangibles del software tales como la fiabilidad, calidad, usabilidad, entre otros como los intangibles generados con su entrega como la satisfacción del cliente, valor de la propiedad intelectual, reputación de la compañía desarrolladora, reduciendo la mayor cantidad de incertidumbre y riesgo

negativo posible. De la misma forma, la medición es necesaria para evaluar el estado los proyectos, productos, procesos y recursos.

Finalmente, la medición en Ingeniería de Software contribuye a mejorar los productos y procesos a fin de obtener mejores resultados.

Para efectuar la medición en Ingeniería de Software las métricas son una buena alternativa ya que facilitan la recopilación de información objetiva generando datos significativos que contribuyen a la toma de decisiones.

En el desarrollo de software el alcance de las métricas de software puede involucrarse con modelos de medición. Para el proceso de medición es importante regirse por unas reglas que contribuyan a establecer de manera certera lo que se desea medir y ser consistente al momento de recopilar esa información [3].

De la misma forma las escalas de valoración contribuyen a establecer un análisis sobre la medición a efectuar. Estas pueden ser de cinco tipos:

- **Nominal:** es la escala de medición más primitiva. Coloca los elementos en un esquema de clasificación sin necesidad de que estos sean ordenados.
- **Ordinal:** a diferencia de la escala anterior esta trabaja con clases ordenadas en relación con el atributo al cual se va a medir.
- **Intervalo:** esta escala genera información significativa y comprensible sobre el tamaño de los intervalos que separa una clase de otra, conservando lógicamente el orden.
- **Proporción:** contiene las propiedades de las escalas anteriores, pero además contempla la ausencia del atributo en una entidad y se puede aplicar cualquier tipo de operación aritmética al rango de operación.
- **Absoluta:** es una escala con mayor restricción ya que la medición se traduce a un conteo simple donde el atributo se evalúa como el número de ocurrencias con que aparece en una entidad.

Lo anteriormente mencionado puede encapsularse a través de un modelo el cual permita efectuar la medición en Ingeniería de software y genere información significativa que facilite la toma de decisiones.

Se define a un modelo como la abstracción de la realidad que nos permite eliminar los detalles y ver una entidad desde un punto de vista en particular[3]. Esta muestra cómo los componentes se relacionan entre sí, de modo que se pueda entender las relaciones y reflexionar sobre ellos. Los modelos son fundamentales antes, durante y después del proceso de medición [3].

Un modelo indica cómo se relacionan las características de una entidad para luego definir una medida para cada característica que permita una mayor comprensibilidad.

Como previamente se mencionó una entidad está compuesta por un conjunto de atributos los cuales se refieren a características adheridos a ella. Cuando un atributo debe medirse combinando varios de sus aspectos, entonces se requiere un modelo de cómo combinar las medidas relacionadas. Frente a ello dichos atributos pueden ser estimados a través de medición directa o derivada. La medición directa de un atributo de una entidad no involucra ningún otro atributo o entidad. Algunos ejemplos de esta categoría en ingeniería de software son el tamaño del código fuente medido por

líneas de código fuente producidas; el cronograma del proceso de prueba medido por el tiempo transcurrido en horas; la cantidad de defectos descubiertos en el software, o el tiempo que un programador dedica a un proyecto. Por otra parte, la medición derivada suele ser útil para hacer visibles las interacciones entre las mediciones directas lo cual trae consigo usar combinaciones de medidas [3].

La medición en ASD puede estar asociado a los métodos o prácticas ágiles que un equipo pueda estar implementando en el desarrollo de sus objetivos. Por ejemplo, Scrum es un marco de trabajo muy usado dentro de las organizaciones donde cada componente que lo conforma es esencial para lograr el valor final del proyecto. Además es aplicable a entornos complejos donde la inteligencia colectiva de las personas que lo emplean pueden adaptarlo a las situaciones que se presenten [74].

Tomando a este *framework* como referencia dentro del proceso de medición resumido en la Fig. 3, se inicia por definir la entidad y el atributo a caracterizar. La entidad es netamente abstracta y está relacionada con la agregación de valor que un equipo Scrum genera en la solución que se va a presentar a un cliente. El valor agregado por historia de usuario finalizada se presenta como el atributo por el cual dicha entidad va a ser medida.

Una historia de usuario es un elemento que permite recolectar de forma corta la funcionalidad que va a tener el sistema y la cual es creada con la perspectiva del usuario, el área de negocio y cliente. Dichas historias de usuario se organizan en una pila de Producto de acuerdo con la prioridad sobre el valor que agregan al negocio y se desarrollan teniendo en cuenta el número de *Sprint* planificados. Un *Sprint* es un bloque de tiempo donde se crea un incremento de producto en estado “*Done*” y es potencialmente entregable [74]. En cada *Sprint* se comprometen un cierto número de historias de usuarios las cuales se agregan al *Sprint Backlog*. Cada historia cuenta con puntos de agregación de valor de acuerdo con la priorización definida y cuando todas las historias se consideren finalizadas, el objetivo del *Sprint* se habrá cumplido satisfactoriamente.

El modelo de medición de entrega de valor se consolidaría matemáticamente como la sumatoria de los puntos de agregación de valor de aquellas historias de usuario que fueron finalizadas en el *Sprint* dividido entre la sumatoria de los puntos de agregación de valor de las historias de usuario planificadas para el mismo. El resultado generado se puede relacionar dentro en un esquema de valoración subjetiva el cual puede adaptarse de acuerdo con las necesidades del equipo Scrum.

La Fig. 4. resume de forma gráfica el ejemplo mencionado con anterioridad.

INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN



Fig. 4. Ejemplo modelo de medición en ASD  
Fuente: una adaptación de la propuesta de Olivera et. al [55]

### 3) Proceso en Ingeniería de Software

Un proceso involucra un conjunto de actividades que tienen una duración determinada y estas pueden ordenarse o relacionarse de alguna manera en el transcurso del tiempo, de modo que una actividad debe completarse antes de que pueda comenzar otra.

Dentro de un proceso se pueden medir un conjunto de atributos asociados al mismo los cuales tienen una relación con la duración, el esfuerzo invertido y el número de sucesos o impedimentos que pueden surgir dentro del proceso o una de sus actividades [3].

El proceso software es un conjunto de actividades y tareas interrelacionadas que transforman los recursos y productos de trabajo de entrada en productos de salida (Ver Fig. 5). Un proceso como mínimo incluye insumos requeridos, los cuales pasan por un trabajo de transformación cuyas actividades pueden a su vez descomponerse en tareas siendo las unidades de trabajo más pequeñas sujetas a gestión responsabilidad todo esto con el fin de generar nuevos productos. Además, la salida de una actividad puede ser el insumo de otra [7].

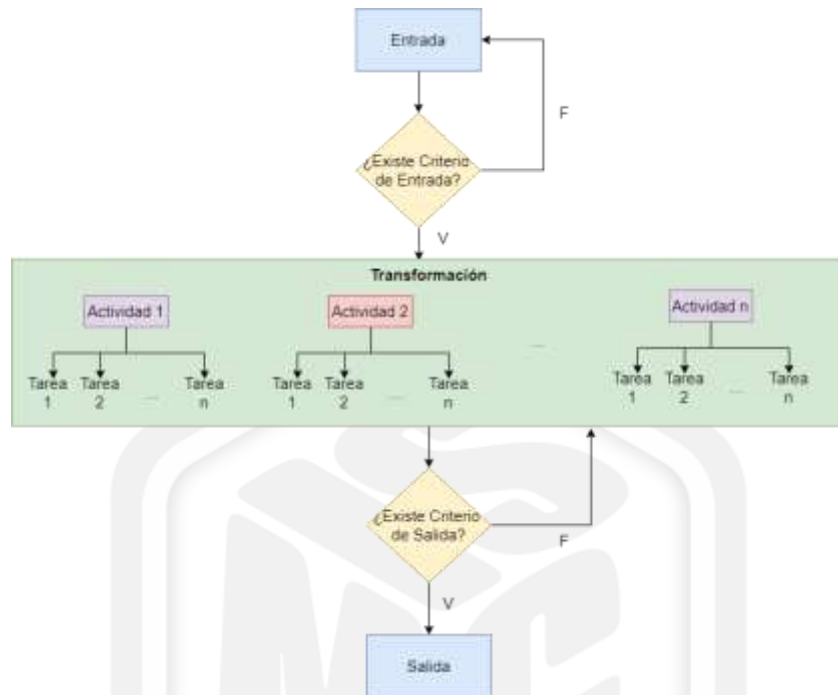


Fig. 5. Elementos de un proceso software  
 Fuente: una adaptación de la propuesta de IEEE Computer Society [7]

Para la presente investigación un proceso en Ingeniería de Software se define como el conjunto de etapas a desarrollar las cuales tendrán actividades y flujos de trabajo, serán ejecutadas por ciertos roles y transformarán entradas en productos de trabajo. El proceso en IS contribuirá a la evaluación de productividad de equipo en ASD aplicando conceptos de Ingeniería de software.

Este proceso se orientará bajo los valores y principios del Manifiesto Ágil de tal manera que se evidencie la aplicación práctica de los mismos y el cual sirva como referente para contextos que requieran evaluar la productividad de equipo.

#### **4) Percepciones de los profesionales en la industria de software.**

La percepción se define como el proceso a través del cual los individuos organizan e interpretan las impresiones sensoriales con el fin de construir un significado acerca de su entorno y elaborar explicaciones sobre las razones subyacentes a ciertos comportamientos [75].

Dentro del proceso investigativo se emplean diferentes elementos que contribuyen a la recolección de información y recopilación de percepciones sobre un determinado tema, uno de ellos es la encuesta.

La encuesta es un método de investigación que permite recoger información para describir conocimientos, actitudes y comportamientos sobre una muestra de la población a través de preguntas. Adicionalmente el propósito de la encuesta es generar un análisis cuantitativo a partir de las respuestas recopiladas y que los resultados puedan ser visibles a través de estadísticas [76].

Existen 6 importantes etapas para la construcción y aplicación de una encuesta dentro de un proceso investigativo:



### **a) Seleccionar el objetivo de la encuesta.**

Un objetivo surge de un problema de investigación. Cada objetivo que se formule dentro de la encuesta siempre va orientado a los resultados esperados que piensa alcanzar con las respuestas que los participantes generen sobre un tópico en particular. Existen tres tipos de objetivos: enfocado a la frecuencia con que se evidencia una característica dentro de la población en un periodo de tiempo; evaluar el impacto generado por alguna característica o condición que ocurre en una población; e identificar los factores que influyen en una característica o condición.

Cada objetivo debería incluir las hipótesis a evaluar, que explicaciones alternativas deberán incluirse o excluirse, el alcance adecuado de acuerdo a los lineamientos del proyecto, y los recursos necesarios [76].

### **b) Seleccionar el diseño de la encuesta más apropiado.**

El diseño puede ser de dos tipos [76]:

- **Transversal:** En donde los participantes se les pide información en un momento determinado.
- **Longitudinal:** Proporciona información sobre los cambios que se evidencian en una población específica a lo largo del tiempo en donde los encuestados pueden ser las mismas personas o diferentes.

### **c) Construir el instrumento de recolección de información: Encuesta**

Para la construcción de la encuesta en primer lugar, se debe efectuar una revisión de literatura la cual facilitará la identificación de estudios similares a la investigación en curso y la forma en como dichos estudios han recolectado la información. Lo anterior se hace con el propósito de no repetir trabajo ya realizado y perfeccionar las técnicas previamente empleadas por otros investigadores con el ánimo de mejorar [76].

En segundo lugar, se puede crear o reutilizar un instrumento ya existente para la recolección de información. Al emplear un instrumento ya previamente creado facilita el proceso de validación del mismo y permite también reutilizar preguntas que bien pueden ser aplicadas al objeto de estudio o bien que sus respuestas puedan ser contrastadas [76].

De igual manera si se opta por modificar completamente el instrumento es necesario considerar con las políticas de autoría que probablemente cuente el original, aplicar la prueba piloto y verificar la fiabilidad de este.

En tercer lugar, la creación del cuestionario es el siguiente paso para tener en cuenta. Para ello se deben formular cuidadosamente las preguntas a incluir y la redacción en ellas es fundamental para su comprensión. Adicionalmente se debe considerar [76]:

- **Tipos de preguntas:** Las cuales pueden ser abiertas si el encuestado da su propia respuesta evitando limitaciones o posibles restricciones frente a su opinión, sin embargo, sino se formula bien la pregunta puede dar lugar a malinterpretaciones; o cerradas cuando el encuestado selecciona una respuesta de una lista de opciones predefinidas.
- **Diseño de las preguntas:** Las preguntas deben formularse con precisión, claridad y sin caer en la ambigüedad. Se deben seguir las recomendaciones relacionadas con gramática y

ortografía, además cada pregunta expresa un solo concepto, debe ser breves pero completas y evitando generar preguntas de doble sentido; no deben incluir calificativos ambiguos ni tampoco usar coloquialismos o jerga en su redacción; evitar formular preguntas que el encuestado personalmente no quiere responder o sobre acontecimientos que ocurrieron hace tiempo y que quizá el encuestado desconoce.

- **Diseño de las opciones de respuestas para las preguntas:** Las respuestas suelen ser con valores numéricos, categorías de respuesta, respuestas sí / no y escalas ordinales. Para el caso de que la decisión de respuesta sea dada por categorías se deben exponer el listado de opciones pertinentes, evitando que sean demasiado largas, permitir selección múltiple e incluir la opción Otra si se desea. Para las respuestas Si/No se recomienda no usarlas tan frecuentemente ya que dependiendo del contexto pueden generar imprecisión, es preferible optar por escalas ordinales en el caso de que la pregunta se relacione por consultar por actitudes y preferencias; por ejemplo:
  - a) **Escalas de acuerdo** usando opciones tales como Totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, de acuerdo, totalmente de acuerdo.
  - b) **Escalas de frecuencia** con opciones como Nunca, Rara vez, A veces, De vez en cuando, La mayor parte del tiempo.
  - c) **Escalas de evaluación** con opciones: Terrible, Inferior, Pasable, Bueno, excelente.
- **Medir complejos conceptos:** Contar con preguntas relacionadas permite obtener mayor confiabilidad en las respuestas de los encuestados.

En cuarto lugar, se prosigue a crear el formato del cuestionario el cual debe facilitar una pertinente organización y orden entre preguntas. Es posible combinar espacios, cuadros, flechas, para obtener una mayor comprensibilidad al momento de leerlas. También tener en cuenta la tipografía y tamaño de la letra para garantizar legibilidad y empleando formatos de texto como negrita, subrayado o mayúsculas para enfatizar instrucciones.

Se recomienda que el cuestionario vaya acompañado de otros elementos tales como [76]:

- Una explicación sobre el propósito del estudio.
- Descripción del responsable del estudio.
- Presentación del documento con membrete de alguna organización responsable al igual que datos de contacto.
- Explicación de como elige a los encuestados y como debe devolver el cuestionario.
- El tiempo aproximado en el que el encuestado tardara en resolver el cuestionario.

En quinto lugar, la motivación es fundamental para incentivar a los participantes a resolver la encuesta. Se debe incluir aspectos relacionados con la relevancia de su participación en el instrumento, como se preservará la confidencialidad, porque es importante conocer su opinión sobre determinado tema, entre otros.

Finalmente, la extensión del cuestionario es un punto clave. Se debe evitar poner demasiadas preguntas que el participante se desanime a contestar. Es aconsejable agrupar las preguntas por temas en donde cada tópico aborda un objetivo específico y si es necesario eliminar preguntas que sean las menos importantes equilibrando entre lo que se quiere lograr y lo que los encuestados están dispuestos a responder.

Se recomienda que para optimizar el tiempo en el diligenciamiento del formulario se puede estandarizar las opciones de respuesta de acuerdo al ámbito que se esté abarcando, de esa manera los encuestados no tienen que gastar mayor tiempo para leer las opciones con atención, pregunta por pregunta [76].

#### **d) Evaluar la confiabilidad y validez del instrumento**

Es importante evaluar el instrumento previamente creado con el fin de revisar que las preguntas que lo componen son claramente entendibles, determinar la tasa de respuestas probables y que estas sean acordes a los interrogantes planteados.

Dos maneras para evaluar un instrumento es a través de grupos focales o con estudios piloto. Los grupos focales conformado por un conjunto de personas las cuales representan a los encuestados y a los analistas de resultados, los cuales dan su apreciación sobre el instrumento, estableciendo preguntas ambiguas, faltantes o poco comprensibles.

Por otro tanto, los estudios piloto son aplicados a una muestra pequeña de la población objeto de estudio a fin de identificar problemas en la resolución del cuestionario, tasa de respuesta y fiabilidad.

Cabe resaltar que un instrumento debe garantizar confiabilidad la cual es relacionada con obtener aproximadamente la misma distribución de resultados cada vez que se aplique la encuesta; y validez indicando que el instrumento mide lo que realmente se quiere medir.

Finalmente, una encuesta debe ser administrada y documentada contando con descripciones relevantes que aporten al proceso investigativo. En dicho documento se debe incluir el objetivo del estudio, una descripción que acompañe a cada pregunta, detalles sobre las fuentes referentes en caso de que las preguntas hayan sido tomadas o adaptadas y la descripción sobre el proceso de evaluación. Luego una vez el instrumento ha sido aplicado, se debe registrar los datos de los encuestados, como se administró, el procedimiento que se efectuó, entre otros [76].

#### **e) Obtención de datos válidos.**

Al momento de aplicar la encuesta es complicado encuestar a toda la población, por lo que es importante seleccionar a un grupo denominado “**muestra**” que sea representativa, apropiada, y que no sea difícil o costosa de consultar.

Antes de escoger la muestra se debe partir por tener una población objetivo, la cual está conformada por individuos que estén en condiciones de responder las preguntas y a quienes se apliquen los resultados de la encuesta. Complementariamente los objetivos del estudio contribuirán a seleccionar de mejor manera la población, entre más precisos sean más fácil será de identificarla. Una forma de definirla es a través de criterios de inclusión o exclusión.

Una vez que se haya definido la población objetivo es necesario seleccionar un método de muestreo que bien puede ser probabilístico o no probabilístico [76].

## Muestreo probabilístico

Una muestra probabilística tiene el propósito principal de eliminar la subjetividad y obtener una muestra representativa e imparcial. Dentro de este grupo se encuentran:

- **Muestreo aleatorio simple** en la que cada miembro de la población se selecciona de forma aleatoria.
- **Muestreo aleatorio estratificado** la cual se obtiene dividiendo la población objetivo en subgrupos denominados estratos. Cada estrato se muestrea por separado y son útiles para poblaciones no homogéneas.
- **Muestreo sistemático** la cual implica la selección de cada  $n$ ésimo miembro del marco muestral.

## Muestreo basado en conglomerados

El muestreo por conglomerados se describe como el conjunto de individuos que pertenecen a grupos definidos donde los procedimientos de aleatorización se basan en el grupo, no en el individuo.

## Muestreo no probabilístico

Este tipo de muestreo se selecciona cuando <sup>1</sup> la población es difícil de identificar; <sup>2</sup> es específica, pero con limitaciones de disponibilidad; <sup>3</sup> la muestra es un estudio piloto, <sup>4</sup> cuando los encuestados son fácilmente accesibles o <sup>5</sup> porque los investigadores tienen alguna justificación para creer que son representativos de la población. Sin embargo, este tipo de muestreo corre el riesgo de estar sesgada y no ser 100% representativa [76].

- **Muestreo por conveniencia:** Implica obtener respuestas de aquellas personas que están disponibles y dispuestas a participar.
- **Muestreo tipo bola de nieve** implica pedir a las personas que han participado en una encuesta que nominen a otras que creen que estarían dispuestas a participar. El muestreo continúa hasta que se obtiene el número de respuestas requerido.
- **Muestreo por cuotas** es la versión no probabilística del muestreo aleatorio estratificado. La población objetivo se divide en grupos apropiados donde cada uno se muestrea (empleando técnicas de conveniencia o bola de nieve) de modo que el número de encuestados en cada subgrupo es conveniente a la proporción en la población.

Dentro de la obtención de datos válidos es necesario tomar medidas para asegurarse de que las personas seleccionadas como muestra devuelvan la encuesta a fin de generar resultados significativos. La validez de los resultados se ve seriamente comprometida si hay un nivel representativo de ausencia de respuesta [76].

### f) Analizar los datos recolectados.

Antes de iniciar el análisis de los datos recolectados, deben examinarse y determinar si las respuestas fueron coherentes y completas, caso contrario manejar una política para aquellas encuestas que no cumplan con esta condición. En algunas circunstancias se pueden emplear los cuestionarios incluso los incompletos, manejando tamaños de muestra diferente para cada pregunta a analizar, pero justificando la selección de ese proceso.

De igual forma los resultados pueden ser estudiados por subgrupos más homogéneos a fin de encontrar un mayor nivel de detalle en las respuestas por características que hayan sido consideradas [76].

Las etapas mencionadas con anterioridad en la investigación de Kitchenham y Pfleeger para la realización y aplicación de una encuesta se consolidan en el estudio de Hernández [69] el cual tiene como objetivo identificar la importancia que para los profesionales de la industria del desarrollo ágil de software tienen las métricas de productividad.

El autor resalta que para el diseño de la encuesta se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, donde se consideró aquellos profesionales que deseaban participar de forma voluntaria y que además cumplan con las condiciones como el hacer parte de un equipo de desarrollo de software, que incorporen la agilidad en sus procesos de trabajo y que cuenten con mínimo un año experiencia usando un método ASD [69].

El estudio se compone de dos partes. En la primera sección los autores recopilan información sociodemográfica de los participantes. En la segunda parte formulan interrogantes siguiendo los pasos propuestos por Fenton y Bieman [3], los cuales están relacionados con las métricas de productividad de equipo en ASD expuestas en [17].

El instrumento fue evaluado por tres expertos, además de que implementaron un estudio piloto con quince desarrolladores de software que usan métodos ASD, el cual contribuyó a realizar las respectivas mejoras y validaciones [69].

La encuesta fue aplicada a cincuenta y siete profesionales del Sur de Colombia que desarrollan software y que trabajan con métodos ágiles, concluyendo que es fundamental dar respuesta a las necesidades de un cliente obteniendo información del tiempo y cantidad de trabajo requerido para desplegar un producto software de la mejor manera posible.

Para el presente proyecto las percepciones de los profesionales de la Industria de software son fundamentales dentro del proceso investigativo puesto que contribuirán al logro del primer objetivo. Con la aplicación de una encuesta a los integrantes de equipos ASD se obtendrá información significativa que permitirá determinar cuál es la percepción que se tiene sobre productividad de equipo y que a su vez será contrastada con la revisión de literatura que se tiene planificado efectuar.

### III. METODOLOGÍA

La presente investigación se enmarcó en el paradigma positivista, utilizando un enfoque cuantitativo y un método empírico-analítico de naturaleza descriptiva y propositiva.

Este estudio es descriptivo porque se identifica y detalla las concepciones de productividad y los factores que la componen para su medición, en fuentes bibliográficas. Para lograr este propósito se utilizó como protocolo el mapeo sistemático de literatura (SMS) propuesto por Petersen [77]. La búsqueda de información se realizó en seis repositorios bibliográficos a saber: IEEE Xplore Digital Library, ACM Digital Library, Scopus, Compendex, Web of Science y Springer Link. Posteriormente, la información obtenida, se contrasta con las percepciones que tienen los integrantes de equipos que hacen uso de métodos ágiles, para detallar de forma explicativa lo que está sucediendo en esta población objeto de estudio. Para recopilar las percepciones se utilizó el proceso propuesto por Kitchenham y Pfleeger [76] para el diseño y ejecución de una encuesta. Para el análisis de los datos recolectados se aplicó estadística descriptiva. La población objetivo estuvo compuesta por los miembros de los equipos de desarrollo de software que utilizan métodos ágiles. Para la selección de la muestra, se empleó un muestreo no probabilístico de tipo intencional. Los criterios de inclusión y exclusión utilizados para la selección de los participantes se encuentran detallados en la Tabla II del estudio.

TABLA II.  
METODOLOGÍA: CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN.

Criterio de inclusión	Criterio de exclusión
Ser integrante de un equipo de desarrollo de software.	Desarrollar software de forma individual
Hacer uso de métodos/técnicas del desarrollo ágil de software.	Hace uso de métodos/técnicas tradicionales.

Fuente: esta investigación

El estudio es propositivo porque, con base en la información recopilada en las fuentes bibliográficas y las percepciones de los profesionales que hacen parte de equipos que utilizan métodos ágiles, se diseña un modelo conceptual con el propósito de evaluar la productividad de equipo, tomando en consideración las ideas presentadas por los autores Fenton y Bieman [3]. Este modelo incluye: objetivo, forma y recursos de la medición. Para elaborar la representación se utiliza los elementos del diagrama de clases UML.

A partir del modelo conceptual propuesto, se estableció un proceso de medición de productividad de equipo aplicable a entornos ASD. El proceso incluyó el diseño y la validación.

Para el diseño, se establecieron los elementos y etapas del proceso de medición. En las etapas se definieron las métricas de medición de los factores de productividad, se continuó por determinar las actividades, recursos y roles y finalmente todos estos componentes se consolidan en el marco de trabajo de Scrum.

Para la validación, se desarrolló de un taller con estudiantes de los programas de Ingeniería de Sistemas de las Universidades CESMAG, Nariño y Mariana. Para la recolección de información se diseñó, elaboró y validó un cuestionario siguiendo el protocolo de Kitchenham y Pfleeger [76] el cual fue completado por los estudiantes y permitió evaluar el nivel de aceptación del proceso propuesto.

## IV. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### A. CARACTERIZACIÓN DE LAS PERCEPCIONES DE PRODUCTIVIDAD A NIVEL DE EQUIPO EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE.

En esta primera fase se buscar indagar las concepciones y percepciones de productividad de equipo en ASD, siendo insumos valiosos para esta investigación. La Fig. 6 resume las actividades efectuadas.



Fig. 6. Actividades desarrolladas en el primer objetivo  
Fuente: Elaboración propia

#### 1) Mapeo sistemático de literatura sobre productividad a nivel de equipo en ASD

Para efectuar el mapeo sistemático de literatura (SMS) sobre productividad de equipo en ASD, el presente estudio se orienta por el proceso sistemático, ordenado, metódico y replicable propuesto por Petersen [77] que contiene una serie de pasos fundamentales para la obtención de la información. La adopción de este protocolo en la investigación se encuentra detallado en la Fig. 7.



Fig. 7. Proceso de realización de mapeo sistemático  
Fuente: una adaptación de la propuesta de Petersen et. al [77]

**a) Definición de las preguntas de investigación**

Las preguntas de investigación seleccionadas para el SMS sobre productividad de equipo en ASD se visualizan en la siguiente tabla.

TABLA III.  
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL SMS

ID	Preguntas de Investigación	Justificación	Posibles Respuestas
1	¿Cuántos estudios primarios describen el concepto de productividad/rendimiento de equipo en ASD?	Determinar el número de estudios actuales que detallan el concepto de productividad/rendimiento de equipo en ASD.	Cantidad de estudios sobre el concepto de productividad/rendimiento de equipo en ASD.
2	¿Qué tipos de estudio hacen referencia los artículos encontrados?	Determinar los tipos de estudio de los artículos seleccionados.	<i>Conference Paper</i> <i>Proceedings Paper</i> <i>Journal</i>
3.	¿De qué país de afiliación pertenecen los estudios primarios?	Determinar el país de afiliación de los estudios seleccionados.	Brasil Estados Unidos
4.	¿Cuál es la frecuencia de publicación de estudios que describen el concepto de productividad de equipo en ASD?	Comprobar con qué frecuencia se están realizando estudios relacionados con productividad de equipo en ASD y determinar si es un tema de investigación actual.	Año de publicación del artículo
5	¿En qué contexto surgen las concepciones de productividad de equipo en ASD?	Encontrar en qué contextos se está desarrollando investigaciones relacionadas con productividad de equipo en ASD.	Academia Industria Centro de Investigación
6	¿Qué métodos de desarrollo ágil de software son contemplados en los estudios primarios?	Determinar los métodos ASD más representativos dentro de los estudios primarios.	Scrum Extreme Programming Kanban
7	¿Cómo definen la productividad de equipo en ASD los estudios primarios?	Determinar el concepto de productividad de equipo en ASD.	Definición de Productividad en ASD
8	¿Cómo se mide la productividad de equipo en ASD?	Establecer como se está efectuando la medición de la productividad de equipo ASD.	Factores, métricas, modelos.

Fuente: esta investigación

Las preguntas permiten definir el alcance del proceso investigativo lo cual contribuirá a que el objetivo del SMS sea claro, considerando los intereses particulares del estudio.

**b) Definición de la cadena de búsqueda**

En esta fase se construye una cadena de búsqueda alineada al alcance previamente definido y a las preguntas de investigación. La cadena incluye los términos expuestos en la Tabla IV y hace uso de operadores booleanos (OR y AND) para la conexión de los mismos.

Las bases de datos bibliográficas consultadas fueron *IEEE Xplore*, *ACM Digital Library*, *Scopus*, *Compendex*, *Web of Science* y *Springer Link*. Cabe resaltar que dependiendo del motor se ajustaron los parámetros de consulta (Ver Tabla IV).



TABLA IV.

CADENA DE BÚSQUEDA EN MOTORES

<i>Operador</i>	<i>Parámetros</i>	<i>IEEE Xplore</i>	<i>ACM Digital Library</i>	<i>Scopus</i>	<i>Compendex</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Springer Link</i>
	"model" "method" "framework" "technique" "process"	OR OR OR OR	All Metadata	Anywhere	Title- Abs- Key	All Fields	All Fields
<b>AND</b>	"evaluation" "assessment" "measurement" "appraisal"	OR OR OR	All Metadata	Anywhere	Title- Abs- Key	All Fields	All Fields
<b>AND</b>	"productivity" "performance" "throughput"	OR OR	All Metadata	Title	Title- Abs- Key	All Fields	All Fields
<b>AND</b>	"team" OR "group" OR "teamwork" "collaborative team"	OR OR	All Metadata	Anywhere	Title- Abs- Key	All Fields	All Fields
<b>AND</b>	"Agile" "Scrum" "Extreme Programming" "Kanban" "Lean" "Crystal"	OR OR OR OR OR	All Metadata	Anywhere	Title- Abs- Key	All Fields	All Fields
<b>AND</b>	"Software development" "software creation" OR "software construction" "software management" "system development" "system creation" OR "system construction" "system management"	OR OR OR OR OR OR	All Metadata	Anywhere	Title- Abs- Key	All Fields	All Fields

Fuente: esta investigación

**c) Definición de criterios de inclusión, exclusión y filtros de búsqueda**

El esquema de clasificación se fundamentó en la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión (Ver Tabla V) y los filtros definidos (Ver Tabla VI) a fin de seleccionar los estudios de mayor relevancia.

TABLA V.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN DEL SMS

ID	Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
1	Estudios publicados entre 2001 y 2021	Estudios publicados antes del 2001.
2	Estudios completos publicados en revistas científicas, compartidos en conferencias o presentados en congresos, que han sido sometidos a un proceso de revisión y evaluación por parte de expertos en la materia.	Informes técnicos y artículos de debate o discusión o material no revisado por pares.
3	Estudios escritos en inglés	Estudios escritos en otro idioma diferente al inglés
4	Estudios relacionados con productividad en el desarrollo ágil de software.	Investigaciones que no abarcan la productividad en el contexto del desarrollo ágil de software.
5	Estudios que son reportados como estudios primarios.	Estudios de nivel secundario o terciario que documentan y analizan los resultados de otras investigaciones.
6		Estudios no accesibles en texto completo.
7		Estudios duplicados.

Fuente: esta investigación

TABLA VI.

FILTROS USADOS PARA EL ESQUEMA DE CLASIFICACIÓN

Filtro	Descripción	Criterio	
		Inclusión	Exclusión
1	Realizar la búsqueda de los artículos utilizando la cadena de búsqueda en los motores de búsqueda elegidos. Los parámetros incluidos en la búsqueda fueron el rango de publicación de los artículos, el tipo de publicación y el idioma.	1,2 y 3	1,2 y 3
2	Leer el título, palabras clave y resumen del artículo.	2, 3, 4 y 5	2,3,4 y 5
3	Eliminar estudios duplicados	-	7
4	Leer introducción, resultados y conclusiones del artículo.	3, 4 y 5	3,4, 5 y 6
5	Leer el artículo completo.	3, 4 y 5	3,4, 5 y 6

Fuente: esta investigación

**d) Ejecución de la búsqueda**

**Consulta en gestores bibliográficos usando cadena de búsqueda**

Cabe resaltar que además de la cadena de búsqueda detallada en la Tabla IV, se aplicó como primer filtro la fecha de publicación (2001-2021), el tipo de contenido o publicación y el idioma (inglés) en cada uno de los bancos de datos bibliográficos. No obstante, en IEEE Xplore y ACM Digital Libray no fue posible hacer el filtro por el idioma puesto que esta funcionalidad no estaba incorporada.

Para el caso de Springer Link se tuvo en cuenta además la disciplina y subdisciplina la cual esta fue diferente para cada tipo de contenido. Por ejemplo, para los estudios cuya clasificación eran

Conference Paper la disciplina seleccionada fue “Computer Science” y la Subdisciplina fue “Software Engineering”; mientras que para los estudios cuyo tipo era *Article* la disciplina seleccionada fue “Computer Science” y la Subdisciplina fue “Software Engineering/Programming and Operating Systems”. Los resultados obtenidos se consolidan en la Tabla VII.

TABLA VII.

RESULTADOS DEL PRIMER FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO

Gestor Bibliográfico	Filtro 1a Fecha de Publicación	Total Filtro 1a	Filtro 1b Tipo de Contenido	Total Filtro 1b	Filtro 3 Idioma	Total Filtro 1c
IEEE Xplore	2001-2021	40	<i>Conferences &amp; Journals</i>	40	NA	40
ACM Digital Library	2001-01-01 a 2021-09-30	99	<i>Research Article &amp; Article</i>	88	NA	88
Scopus	2001 - 2021	152	<i>Conference Paper &amp; Article</i>	96	Inglés	92
Compendex	2001 - 2021	112	<i>Conference Article &amp; Journal Article</i>	69	Inglés	67
Web of Science	2001-01-01 a 2021-09-30	43	<i>Proceedings Paper &amp; Article</i>	43	Inglés	42
Springer Link	2001 - 2021	1564	<i>Conference Paper &amp; Article</i>	288	Inglés	287

Fuente: esta investigación

**Revisión de título, resumen y palabras claves**

En esta fase se continúa por efectuar la lectura del título, resumen y palabras clave de cada uno de los estudios seleccionados tras aplicar el filtro 1. Cabe resaltar que para el caso de las palabras clave se consideraron las columnas relacionadas las cuales variaban de acuerdo con cada motor de búsqueda. En la Tabla VIII se resume esta información.

TABLA VIII.

TÉRMINOS EMPLEADOS PARA LA REVISIÓN DE PALABRAS CLAVE

<i>IEEE Xplore</i>	<i>ACM Digital Library</i>	<i>Scopus</i>	<i>Compendex</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Springer Link</i>
<b>Author Keywords</b>	Keywords	Author Keywords, Index Keywords	Controlled/Subject terms, Uncontrolled terms	Author Keywords	Keywords

Fuente: esta investigación

Con los resultados obtenidos previamente se continúa por descartar los estudios que no sean primarios (Ver Tabla IX).

TABLA IX.

RESULTADOS DEL SEGUNDO FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO

Gestor Bibliográfico	Total Filtro 2a Título, Resumen, Palabras Clave	Total Filtro 2b Estudios Primarios
<b>IEEE Xplore</b>	10	7

Gestor Bibliográfico	Total Filtro 2a Título, Resumen, Palabras Clave	Total Filtro 2b Estudios Primarios
<b>ACM Digital Library</b>	8	6
<b>Scopus</b>	18	16
<b>Compendex</b>	21	19
<b>Web of Science</b>	15	14
<b>Springer Link</b>	11	11
<b>Total</b>	83	73

Fuente: esta investigación

### Eliminación de duplicados

Una vez aplicado el filtro 2, se continúa por eliminar los estudios duplicados, considerando que Scopus, Compendex y Web of Science recopilan información de diversas bibliotecas digitales incluyendo ACM digital Library e IEEE Xplore, por lo cual el número de artículos se redujo a 46. Los resultados se visualizan en la Tabla X.

TABLA X.

#### RESULTADOS TRAS LA ELIMINACIÓN DE DUPLICADOS

<i>IEEE Xplore</i>	<i>ACM Digital Library</i>	<i>Scopus</i>	<i>Compendex</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Springer Link</i>
7	6	14	4	4	11

Fuente: esta investigación

### Leer la introducción, resultados y conclusiones del artículo aplicando los criterios de inclusión y exclusión.

Una vez aplicado el filtro 3, se continúa por efectuar la lectura de la introducción, resultados y conclusiones de cada uno de los artículos seleccionados. Los resultados arrojan 20 estudios que cumplen con los criterios de inclusión y se discriminan en la Tabla XI.

TABLA XI.

#### RESULTADOS DEL CUARTO FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO

<i>IEEE Xplore</i>	<i>ACM Digital Library</i>	<i>Scopus</i>	<i>Compendex</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Springer Link</i>
5	3	5	3	2	2

Fuente: esta investigación

### Leer el artículo completo aplicando los criterios de inclusión y exclusión.

El ultimo filtro del mapeo sistemático se relaciona con la lectura del artículo completo considerando el resto de los elementos estructurales como lo es el marco de antecedentes, el diseño del estudio o diseño metodológico, y la discusión de resultados. La Tabla XII muestra la cantidad de estudios que cumplieron con el quinto filtro discriminados por motor de búsqueda.

TABLA XII.

#### RESULTADOS DEL QUINTO FILTRO POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO

<i>IEEE Xplore</i>	<i>ACM Digital Library</i>	<i>Scopus</i>	<i>Compendex</i>	<i>Web of Science</i>	<i>Springer Link</i>	<i>Total</i>
2	2	1	2	2	0	9

Fuente: esta investigación

La Fig. 8 resume la cantidad de estudios encontrados después de la aplicación de cada uno de los filtros discriminado por cada gestor bibliográfico.

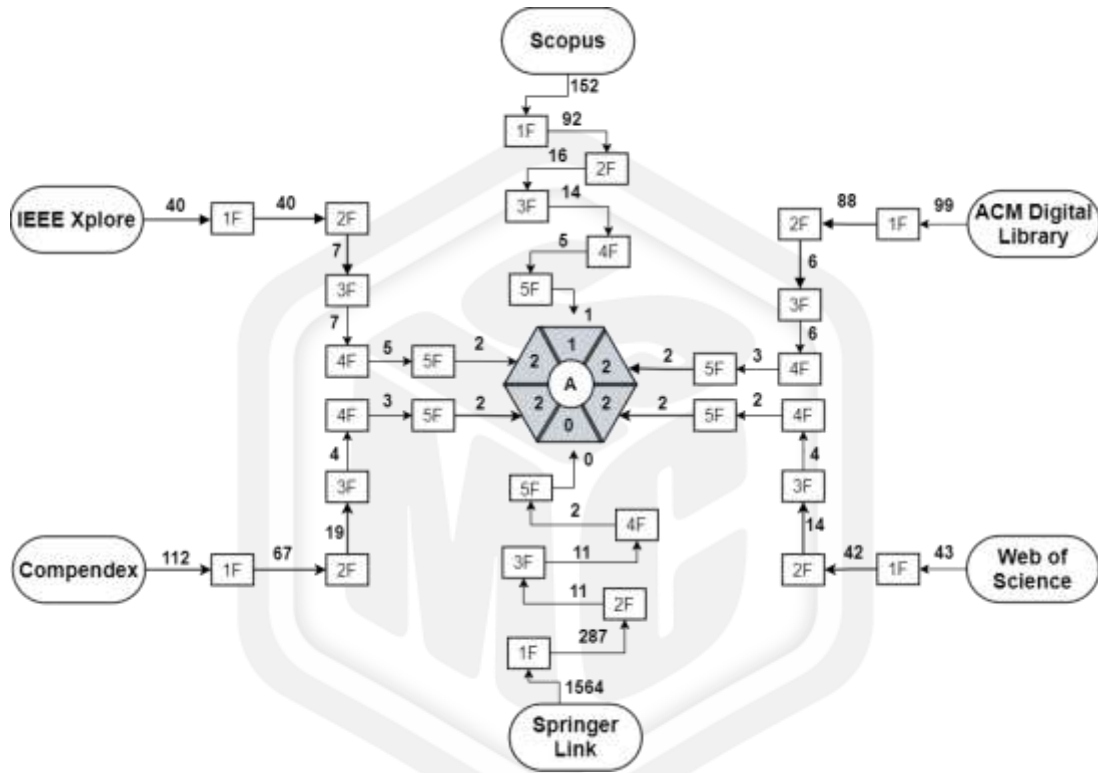


Fig. 8. Resultados por cada gestor bibliográfico  
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla XIII se detalla el listado de los artículos revisados con su referencia bibliográfica.

TABLA XIII.

LISTADO DE ARTÍCULOS PRELIMINARES.

ID	Título del Artículo
P1 [8]	<i>Productivity, Turnover, and Team Stability of Agile Teams in Open-Source Software Projects</i>
P2 [9]	<i>A Statistical Model to Assess the Team's Productivity in Agile Software Teams</i>
P3 [10]	<i>How Do Software Developers Experience Team Performance in Lean and Agile Environments?</i>
P4 [78]	<i>Group Hedonic Balance and Pair Programming Performance: Affective Interaction Dynamics as Indicators of Performance</i>
P5 [11]	<i>A case study of using the hybrid model of scrum and six sigma in software development</i>
P6 [79]	<i>An empirical study of WIP in Kanban teams</i>
P7 [80]	<i>Understanding lack of trust in distributed agile teams: A grounded theory study</i>
P8 [81]	<i>Transition to Agile method without Agile-compliant performance appraisal?</i>
P9 [82]	<i>Decision support technology for sprint planning</i>

Fuente: esta investigación

e) *Evaluación de la calidad de los artículos*

Después de completar el proceso de selección, se lleva a cabo una tarea adicional relacionada con el aseguramiento de la calidad de los artículos encontrados. Esta tarea implica inspeccionar y evaluar un conjunto de criterios que se detallan en la Tabla XIV.

TABLA XIV.  
CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE ARTÍCULOS

ID	Criterio	Categoría
C1	Los objetivos e interrogantes de investigación están debidamente expuestos, resultan claros y son pertinentes.	Calidad del reporte
C2	La investigación exhibe una estructura metodológica apropiada que posibilita abordar y lograr los objetivos establecidos de manera eficaz.	Rigor
C3	El proceso de recolección de datos utilizado en la investigación es coherente con el diseño metodológico elegido.	Rigor
C4	Los hallazgos expuestos en el estudio son precisos y coherentes, en consonancia con el diseño metodológico propuesto.	Credibilidad
C5	El estudio ha sido objeto de evaluación y valoración por parte de otros investigadores en el campo.	Relevancia

Fuente: esta investigación

Para evaluar la calidad de los artículos, se implementó una escala que permite verificar el grado de cumplimiento de los criterios establecidos. Esta escala se divide en tres categorías: Alto (2 puntos), Medio (1 punto) y Bajo (0 puntos).

Para el criterio de Relevancia relacionado con la valoración que le dan otros investigadores al estudio, se tuvo en cuenta el número de citas que este tiene, considerando que:

- Mayor o igual a 10 citas: Alto (2 puntos)
- Entre 1 y 9 citas: Medio (1 punto)
- Sin citaciones: Bajo (0 puntos)

Se seleccionaron aquellos artículos que obtuvieron una valoración igual o superior al 80% del total de puntos posibles, como se indica en la Tabla XV. Estos artículos cumplieron con los criterios de calidad establecidos y fueron considerados como los más relevantes para el estudio.

TABLA XV.  
EVALUACIÓN DE LOS ARTÍCULOS POR CRITERIOS DE CALIDAD

ID	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum_{i=1}^5 C_i$	%FO	Aceptado
P1 [8]	2	2	2	2	1	9	90%	Si
P2 [9]	2	2	2	2	0	8	80%	Si
P3 [10]	2	2	2	2	2	10	100%	Si
P4 [78]	1	2	2	2	2	9	90%	Si
P5 [11]	1	2	2	2	1	8	80%	Si
P6 [79]	2	2	2	2	1	9	90%	Si
P7 [80]	1	2	2	2	2	9	90%	Si
P8 [81]	1	2	1	1	1	6	60%	No

ID	C1	C2	C3	C4	C5	$\sum_{i=1}^5 C_i$	%FO	Aceptado
P9 [82]	1	2	2	2	1	8	80%	Si

Fuente: esta investigación

Después de completar el proceso de evaluación de calidad, se eligieron 8 artículos que cumplen con los criterios formulados. En la Tabla XVI, se listan los estudios seleccionados.

TABLA XVI.  
LISTADO DE ARTÍCULOS SELECCIONADOS

ID	Título del Artículo
S1 [8]	<i>Productivity, Turnover, and Team Stability of Agile Teams in Open-Source Software Projects</i>
S2 [9]	<i>A Statistical Model to Assess the Team's Productivity in Agile Software Teams</i>
S3 [10]	<i>How Do Software Developers Experience Team Performance in Lean and Agile Environments?</i>
S4 [78]	<i>Group Hedonic Balance and Pair Programming Performance: Affective Interaction Dynamics as Indicators of Performance</i>
S5 [11]	<i>A case study of using the hybrid model of scrum and six sigma in software development</i>
S6 [79]	<i>An empirical study of WIP in Kanban teams</i>
S7 [80]	<i>Understanding lack of trust in distributed agile teams: A grounded theory study</i>
S8 [82]	<i>Decision support technology for sprint planning</i>

Fuente: esta investigación

La Fig. 9, resume la cantidad de estudios hallados tras la aplicación de cada uno de los filtros y los criterios de calidad.

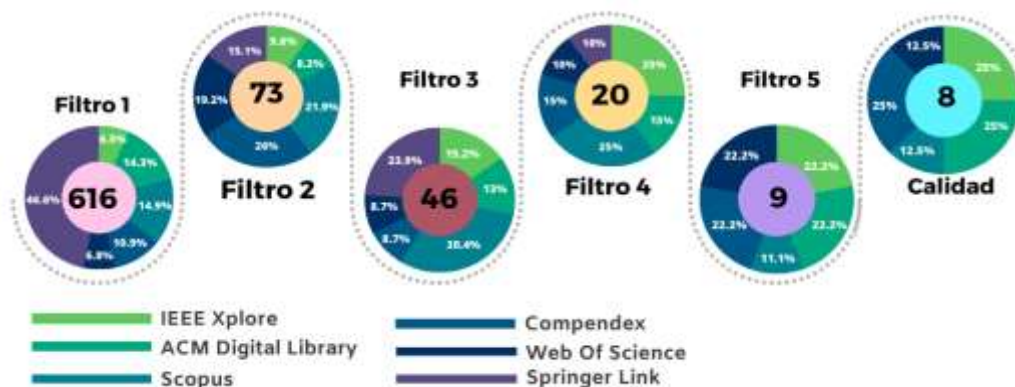


Fig. 9. Número de estudios identificados por cada filtro de búsqueda y con evaluación de calidad.

Fuente: Elaboración propia

#### f) Extracción de datos

En esta etapa se procede a la extracción de datos considerando las preguntas de investigación definidas en la primera fase del mapeo. La revisión permitió la depuración de la información considerando los siguientes metadatos por artículo: título, autores, base de datos bibliográfica, tipo de estudio, nombre de la publicación, institución y país de afiliación, año de publicación y palabras clave.

### g) Análisis de resultados

Los resultados obtenidos con la revisión de los documentos seleccionados se consolidaron de acuerdo con las preguntas de investigación para el SMS expuestas en la Tabla III.

La cantidad de estudios que cumplieron con los filtros expuestos en la Tabla VI y los criterios de calidad, fue de ocho (8). Lo anterior permite afirmar que hay muy poca información sobre productividad de equipo en ASD en la literatura y como medirla [17] convirtiendo este tema en un gran desafío [19] [83] dentro de la investigación.

En la Tabla XVII se describe la cantidad de artículos identificados por cada base de datos bibliográfica. Cabe resaltar que los dos estudios que se encontraron en Compendex, uno de ellos refiere también a la biblioteca de IEEE Digital Xplore y otro a la de ACM Digital Library. Lo anterior muestra que el 75% de los artículos seleccionados pertenecen a estos gestores de datos bibliográficos.

Por otra parte, de los estudios identificados en la fuente de información Springer Link ninguno clasifica en la selección final. Las principales razones se deben a que, los resultados arrojados tras aplicar la cadena de búsqueda fueron demasiado amplios (616 artículos con el primer filtro) y la información generada no tuvo el mismo nivel de precisión de los otros motores.

TABLA XVII.

CANTIDAD DE ESTUDIOS IDENTIFICADOS POR GESTOR BIBLIOGRÁFICO

Base de Datos Bibliográfica	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	FO	%FO
<i>IEEE Digital Xplore</i>	1	1							2	25,0%
<i>ACM Digital Library</i>			1	1					2	25,0%
<i>Compendex</i>						1	1		2	25,0%
<i>Scopus</i>					1				1	12,5%
<i>Web Of Science</i>								1	1	12,5%

Fuente: esta investigación

En la Tabla XVIII detalla el tipo de estudio de los artículos seleccionados de lo cual se rescata que el 62.5% son estudios expuestos en una Conferencia o en un Journal.

TABLA XVIII.

TIPO ESTUDIOS DE LOS ARTÍCULOS

Tipo de Estudio	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	FO	%FO
<i>Conferences Paper</i>	1	1					1		3	37,5%
<i>Proceedings Paper</i>			1	1		1			3	37,5%
<i>Journal</i>					1			1	2	25,0%

Fuente: esta investigación

Ahora bien, la Tabla XIX detalla el país de afiliación al cual corresponden los artículos. En esta se puede observar que el 50% de las investigaciones son del continente europeo y un 25% del continente asiático. De igual manera, se evidencia la ausencia de estudios de América Latina y solo un 12,5% corresponde a América del Norte.



TABLA XIX.

PAÍS DE AFILIACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

País de Afiliación	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	FO	%FO
Irán		1			1				2	25,0%
Estonia	1								1	12,5%
Finlandia			1						1	12,5%
Estados Unidos				1					1	12,5%
Noruega						1			1	12,5%
Nueva Zelanda							1		1	12,5%
Ucrania								1	1	12,5%

En cuanto a la frecuencia de publicación de los artículos se observa que en los últimos cuatro años un 67,5% de los artículos abordan la productividad de equipo en ASD lo que muestra que es un tema que viene creciendo el interés por parte de la comunidad académica (Ver Tabla XX).

TABLA XX.

FRECUENCIA DE PUBLICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Año de Publicación	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	FO	%FO
2012				1			1		2	25,0%
2020	1							1	2	25,0%
2021		1			1				2	25,0%
2014			1						1	12,5%
2018						1			1	12,5%

Fuente: esta investigación

En cuanto al contexto en el cual abordan los artículos, el 100% se desenvuelven en el ámbito de la industria de software. Lo anterior permite deslumbrar que la productividad en el ASD es un indicador de gran interés dentro de las empresas de software y su medición podría contribuir a conocer cuál es el desempeño del equipo en la realización de cada una de las actividades en un determinado momento.

En los estudios seleccionados también se efectuó un análisis de las palabras clave. Se decidió conformar categorías por el nivel de similitud entre las *keywords* y se seleccionaron aquellas son recurrentes entre los estudios. La Tabla XXI muestra los resultados encontrados y permite afirmar que las categorías seleccionadas se relacionan estrechamente con la cadena de búsqueda planteada en la Tabla IV y a su vez están alineadas al objetivo del estudio.

TABLA XXI.

CATEGORÍAS DE LAS PALABRAS CLAVE

Categorías	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	FO	%FO
Método de Desarrollo Ágil	1	1	1		1	1			5	62,5%
Productividad de Equipo	1	1				1		1	4	50,0%
Rendimiento de Equipo	1		1	1				1	4	50,0%
Factores comportamentales	1		1	1					3	37,5%
Tipo de Estudio			1			1	1		3	37,5%
Método de Desarrollo					1		1		2	25,0%

<b>Categorías</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>FO</b>	<b>%FO</b>
Prácticas Ágiles				1				1	2	25,0%
Tipo de Modelo		1					1		2	25,0%

Fuente: esta investigación

En cuanto a los métodos de desarrollo ágil de software contemplados dentro de los estudios primarios se describen en la Tabla XXII, destacando que el más empleado es Scrum.

TABLA XXII.

MÉTODOS ASD IDENTIFICADOS EN LOS ESTUDIOS

<b>Método ASD</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>	<b>FO</b>	<b>%FO</b>
Scrum		1			1		1	1	4	50,0%
Extreme Programming		1		1			1		3	37,5%
Kanban		1				1			2	25,0%
Six Sigma					1				1	12,5%
Lean			1						1	12,5%
Agile UP		1							1	12,5%
Sin Especificar	1								1	12,5%

Fuente: esta investigación

**Concepto de productividad de equipo en ASD de los estudios primarios**

La Tabla XXIII describe las definiciones sobre productividad de equipo ASD expuestas en los estudios primarios seleccionados.

TABLA XXIII.

CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN ASD

<b>ID</b>	<b>Concepto de productividad de equipo en ASD</b>	<b>Categoría</b>
S1 [8]	La productividad en el desarrollo de software ha sido estudiada ampliamente (Relevancia) de igual manera que los factores que la componen (Se compone de Factores) considerando que estos deben ser revaluados de acuerdo con las nuevas necesidades de la industria de software. En el contexto del desarrollo ágil de software en proyectos de código abierto se evidencia aún muy poca información sobre este indicador (Concepto Abstracto).	Relevancia Se compone de factores Concepto abstracto
S2 [9]	La productividad del equipo de software se ha convertido en uno de los retos más trascendentes (Relevancia) para controlar, predecir y mejorar los proyectos de las empresas de software. Asimismo, para los equipos de software ágiles es esencial para incrementar el rendimiento en el desarrollo de software (Relevancia). Conocer el nivel de productividad del equipo puede contribuir a obtener mejores resultados de estimación en el tiempo y el costo de los proyectos, asimismo que generar una mayor satisfacción en el cliente (Cumplimiento de objetivos). No hay una definición particular respecto a la productividad del equipo (Concepto Abstracto) en la literatura, los estudios existentes se han enfatizado por identificar factores (Se compone de Factores) y posibles impactos (Se compone de Impactos) en la productividad más que consolidar una ecuación matemática para evaluar este indicador.	Relevancia Se compone de factores Concepto abstracto Se compone de impactos Cumplimiento de objetivos del cliente

<b>ID</b>	<b>Concepto de productividad de equipo en ASD</b>	<b>Categoría</b>
S3 [10]	<p>El rendimiento es un concepto que puede ser abordado y evaluado desde diferentes puntos de vista dentro de una organización. Para alcanzar un buen rendimiento es necesario la intervención de una serie de factores (Se compone de Factores) que provienen de diversos contextos.</p> <p>Para las empresas de desarrollo de software el rendimiento es un indicador clave que debe estar en constante mejora (Indicador de mejora) y debe alinearse a las tendencias del mercado.</p> <p>El concepto de rendimiento de equipo se asocia con dos ejes importantes. El primero está relacionado con la percepción que tienen los profesionales sobre el desempeño el cual puede partir desde una visión individual orientada por la comprensión de los roles de trabajo, hasta una visión más global asociado al equipo, el mercado o los mismos interesados (Percepción de productividad de equipo). El segundo eje está asociado al cumplimiento de los objetivos y las expectativas provenientes de un cliente a través de una adecuada planificación del trabajo junto con la necesidad de interacción y comunicación en la que los equipos de software pueden jugar un papel relevante (Cumplimiento de objetivos del cliente).</p>	<p>Se compone de factores</p> <hr/> <p>Indicador de mejora</p> <hr/> <p>Cumplimiento de objetivos del cliente</p>
S4 [78]	<p>El desempeño de un equipo no depende tanto de la inteligencia individual de sus miembros, sino más bien de su sensibilidad social (Se compone de factores). En el caso de los grupos de programación en pares el balance hedónico grupal (Factor) (calidad afectiva de las interacciones) es un indicador relevante para el desempeño.</p>	<p>Se compone de factores</p>
S5 [11]	<p>Las empresas de desarrollo de software buscan continuamente implementar nuevas alternativas para mejorar el rendimiento de un equipo al momento de producir software (Indicador de mejora) para así generar una mayor satisfacción al cliente (Cumplimiento de objetivos del cliente).</p> <p>Cabe resaltar que el uso de métodos ASD tales como Scrum y Six Sigma pueden contribuir a incrementar de manera considerable este aspecto (Indicador de mejora).</p>	<p>Indicador de mejora</p> <hr/> <p>Cumplimiento de objetivos del cliente</p>
S6 [79]	<p>La productividad es una función de cuánto se produce, de qué calidad, en qué período de tiempo y usando cierta cantidad de recursos (Se compone de factores). La productividad está ligada a diversos factores (Se compone de factores) y uno de los más importantes se relaciona con el tamaño de un equipo (Factor).</p>	<p>Se compone de factores</p>
S7 [80]	<p>La confianza es un factor que contribuye a que un equipo este cohesionado, sea efectivo y tenga un alto desempeño (Se compone de factores).</p> <p>El desempeño de un equipo hace relación a que tanto el equipo ha logrado los resultados acordados colectivamente con el cliente (Cumplimiento de objetivos del cliente).</p> <p>El desempeño del equipo puede llevar al éxito o fracaso de un proyecto de desarrollo de software.</p>	<p>Se compone de factores</p> <hr/> <p>Cumplimiento de objetivos del cliente</p>
S8 [82]	<p>La gestión del rendimiento es el proceso que contribuye a calcular y mejorar el rendimiento del equipo para lograr los objetivos de la empresa de TI (Cumplimiento de objetivos del cliente). El desempeño del equipo, puede determinarse mediante un conjunto de indicadores clave de desempeño (Se compone de factores) entre los cuales están la satisfacción del cliente y del equipo, el trabajo realizado, el tiempo de reuniones invertidas y la velocidad del equipo (Factores).</p>	<p>Cumplimiento de objetivos del cliente</p> <hr/> <p>Se compone de factores</p>

Fuente: esta investigación

Con base en las definiciones identificadas en la literatura se pudo establecer categorías de mayor relevancia que asocian el concepto de productividad de equipo en ASD. La Tabla XXIV sintetiza esta información con la recurrencia de cada categoría por cada estudio primario.

TABLA XXIV.

CATEGORÍAS ASOCIADAS AL CONCEPTO DE PRODUCTIVIDAD EN ASD

Categorías asociadas al concepto de productividad en ASD	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	FO	%FO
Se compone de factores	1	1	1	1		1	1	1	7	87,5%
Cumplimiento de objetivos del cliente		1	1		1		1	1	5	50,0%
Relevancia	1	1							2	25,0%
Concepto Abstracto	1	1							2	25,0%
Indicador de mejora			1		1				2	25,0%
Se compone de impactos		1							1	12,5%

Fuente: esta investigación

La definición sobre productividad de equipo en ASD en la literatura es un concepto abstracto [8],[9], su significado aún sigue siendo objeto de estudio y se encuentra en construcción.

Para las organizaciones de software, la productividad de equipo en ASD cumple un papel fundamental [8],[9] puesto lo consideran como un indicador de mejora dentro de sus procesos [10],[11] y contribuye a que los equipos alcancen mejores resultados [9]. En la mayoría de estudios analizados [8], [9], [10], [78],[79],[80],[82], la productividad de equipo está compuesto de un conjunto de factores de diversos tipos (contexto, socio-humanos, organizacionales, proyecto, entre otros) que generan un impacto dentro del equipo, la organización e inclusive el mercado. Además permite visibilizar la satisfacción del cliente a través de la entrega funcional y de calidad de un producto software [9],[79] acorde con sus expectativas y necesidades [9], [10], [11], [80], [82].

La Fig. 10 detalla la representación del concepto de Productividad de equipo en ASD.



Fig. 10. Mapa de conceptos recurrentes sobre productividad de equipo en ASD

Fuente: Elaboración propia

## Medición de productividad de equipo en ASD

Para la medición se toma en cuenta los factores que determinan, influyen e impactan la productividad de equipo en ASD. Los factores se clasifican considerando algunos conceptos expuestos en [10], consolidando las siguientes categorías.

**Significado.** Dentro de esta categoría se agrupan los factores que se relacionan con la percepción que tienen los integrantes del equipo de desarrollo sobre la productividad, la cual puede ser vista desde un enfoque individual o desde una perspectiva general. La comprensión del desempeño contribuye a entender lo que el equipo espera alcanzar.

Los factores considerados dentro de este grupo se detallan en la Tabla XXV.

TABLA XXV.

### FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA SIGNIFICADO

Factor	S1	S3	S4	S5	S7	S8	FO	FO%
Velocidad	1				1	1	3	37,5%
Capacidad de trabajo	1			1			2	25,0%
Satisfacción del cliente					1	1	2	25,0%
Comprensión de los roles de trabajo		1					1	12,5%
Comprensión orientada a un panorama general		1					1	12,5%
Maneras de ver el éxito		1					1	12,5%
Comprensión Ágil		1					1	12,5%
Necesidad de comunicación		1					1	12,5%
Planificación de trabajo		1					1	12,5%
Satisfacción con la experiencia de programación			1				1	12,5%
Satisfacción con el código desarrollado			1				1	12,5%
Satisfacción del equipo						1	1	12,5%

Fuente: esta investigación

Nota: Los estudios que no están relacionados en la Tabla XXV es porque no aportaron ningún factor dentro de esta categoría.

**Impacto.** Se considera los factores que inciden dentro del equipo y que generan una influencia negativa, positiva o inclusive neutral en su comportamiento. Los factores que hacen parte de esta categoría se detallan en la Tabla XXVI.

TABLA XXVI.

### FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA IMPACTO

Factor	S1	S2	S3	S4	S6	S7	FO	FO%
Colaboración			1			1	2	25%
Comunicación			1			1	2	25%
Calidad		1			1		2	25%
Recursos			1		1		2	25%
Manejo de los requisitos		1					1	12.5%

Factor	S1	S2	S3	S4	S6	S7	FO	FO%
Duración de la iteración	1						1	12,5%
Rotación de los integrantes que abandonaron el proyecto	1						1	12,5%
Rotación de los integrantes recién llegados	1						1	12,5%
Estabilidad de los integrantes del equipo.	1						1	12,5%
Apoyo organizacional			1				1	12,5%
Atmósfera			1				1	12,5%
Poder de decisión			1				1	12,5%
Control de mi propio trabajo.			1				1	12,5%
Reorganización			1				1	12,5%
Trabajo distribuido			1				1	12,5%
Cooperación			1				1	12,5%
Establecimiento de metas			1				1	12,5%
Herramientas			1				1	12,5%
Pruebas			1				1	12,5%
Duración para resolver la tarea de calendario				1			1	12,5%
Rendimiento del código.				1			1	12,5%
Tamaño del equipo					1		1	12,5%
Conflictos no resueltos						1	1	12,5%

Fuente: esta investigación

Nota: Los estudios que no están relacionados en la Tabla XXVI es porque no aportaron ningún factor dentro de esta categoría.

**Flexibilidad.** En esta categoría se agrupan los factores que afectan el desempeño de un equipo cuando se somete a condiciones que implican cambios, es decir, adaptarse al cambio. En la Tabla XXVII se ponen a consideración los factores identificados.

TABLA XXVII.

FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA FLEXIBILIDAD

Factor	S3	S6	S8	FO	FO%
Mejorando el proceso	1			1	12,5%
Aprendizaje organizacional	1			1	12,5%
Inversión de tiempo	1			1	12,5%
Adaptarse al cambio	1			1	12,5%
Priorización	1			1	12,5%
Aprendiendo de los fracasos	1			1	12,5%
Obtener aceptación	1			1	12,5%
Trabajo en progreso		1		1	12,5%
Tiempo de espera		1		1	12,5%
Tiempo de reunión por sprint			1	1	12,5%
Porcentaje de tareas perdidas			1	1	12,5%

Fuente: esta investigación

Nota: Los estudios que no están relacionados en la Tabla XXVII es porque no aportaron ningún factor dentro de esta categoría.

**Alto desempeño.** Se agrupan los factores relacionados con capacidades que consolidan la identidad del equipo y contribuyen a alcanzar niveles superiores de rendimiento.

Los factores que hacen parte de este grupo se destacan en la Tabla XXVIII.

TABLA XXVIII.  
FACTORES ASOCIADOS A LA CATEGORÍA ALTO DESEMPEÑO

Factor	S1	S2	S3	S4	S7	FO	FO%
Factor de enfoque	1					1	12,5%
Liderazgo del equipo		1				1	12,5%
Relación entre equipos.		1				1	12,5%
Visión del equipo.		1				1	12,5%
Espíritu de equipo			1			1	12,5%
Habilidades sociales			1			1	12,5%
Configuración del equipo			1			1	12,5%
Recompensas			1			1	12,5%
Motivación intrínseca			1			1	12,5%
Desarrollo personal			1			1	12,5%
Identidad del equipo			1			1	12,5%
Sentimiento de Orgullo			1			1	12,5%
Balance hedónico grupal				1		1	12,5%
Confianza					1	1	12,5%
Capacidad del equipo					1	1	12,5%
Vinculación					1	1	12,5%
Compromiso					1	1	12,5%

Fuente: esta investigación

Nota: Los estudios que no están relacionados en la Tabla XXVIII es porque no aportaron ningún factor dentro de esta categoría.

La presente investigación identificó en los estudios seleccionados sesenta y tres (63) factores que influyen en la medición de la productividad de equipo en ASD, los cuales se organizaron en las cuatro categorías mencionadas con anterioridad. Como resultado se obtiene que para la categoría Significado (19%) los factores más recurrentes se pueden agrupar en: Velocidad de equipo, Capacidad de Trabajo y Satisfacción del Cliente. En la categoría Impacto (36.5%) se destacan los factores de: Colaboración, Comunicación y Calidad.

Para las categorías Flexibilidad (17.5%) y Alto Desempeño (27%) no se evidencia recurrencia de los factores de productividad entre los artículos, es decir, un factor solo aparece en un artículo.

La Fig. 11 resumen los factores identificados por cada una de las categorías establecidas.



Fig. 11. Factores de productividad identificados en el SMS

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información expuesta en las fuentes bibliográficas en las Tablas XIX-XXXII se exponen las definiciones de los factores identificados.

TABLA XXIX.

DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA SIGNIFICADO

Factor Significado	Definición
Velocidad	Cantidad de trabajo que un equipo ha completado durante un incremento e iteración.
Capacidad de trabajo	Relación entre la cantidad de trabajo completado y el trabajo planeado
Satisfacción del cliente	Grado de cumplimiento de las expectativas de un cliente tras recibir el producto software
Comprensión de los roles de trabajo	Comprensión del desempeño de cada integrante del equipo
Comprensión a un panorama general	Comprensión del desempeño de equipo, organización o mercado
Maneras de ver el éxito	Medición de los Indicadores clave de desempeño de los objetivos planeados
Comprensión Ágil	Prácticas ágiles adoptadas y utilizadas por el equipo para el logro del objetivo.
Necesidad de Comunicación	Diferentes puntos de vista sobre la conveniencia de participar en la interacción social
Planificación de trabajo	Cantidad de trabajo a realizar dentro de una iteración o incremento
Satisfacción con la experiencia de programación	Incidencia en el desempeño de las relaciones de interacción por el uso de técnicas de programación en equipo.
Satisfacción con el código desarrollado	Propiedades que posee el código creado, por ejemplo, reutilización, calidad, uso de estándares y mantenibilidad.



<b>Factor Significado</b>	<b>Definición</b>
Satisfacción del equipo	Grado de conformidad que tienen los integrantes del equipo en el desarrollo de sus actividades.

Fuente: esta investigación

TABLA XXX.

DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA IMPACTO

<b>Factor Impacto</b>	<b>Definición</b>
Colaboración y Cooperación	Grado de interdependencia que existe en el equipo en el desarrollo de las tareas asignadas.
Comunicación	Grado de comunicación efectiva que existe en el equipo en el desarrollo de las tareas asignadas
Calidad	Medida de eficiencia que permite evaluar el cumplimiento del trabajo realizado por parte del equipo.
Recursos	Número de elementos de trabajo a emplear en una iteración e incremento
Manejo de los requisitos	Nivel de precisión y especificidad de los requisitos
Duración de la iteración	Tiempo transcurrido entre fechas de inicio y finalización de la iteración.
Rotación de los integrantes que abandonaron el proyecto	Porcentaje de integrantes que abandonan el equipo en relación con la iteración anterior
Rotación de los integrantes recién llegados	Relación del número de nuevos integrantes del equipo activos en la iteración actual e inactivos en la iteración anterior entre el número promedio de integrantes durante la iteración.
Estabilidad de los integrantes del equipo.	Relación de los integrantes iniciales, nuevos, y que abandonan entre el número de integrantes del equipo
Apoyo organizacional	Grado en que la organización valora el trabajo realizado por el equipo
Atmósfera	Nivel de satisfacción de los integrantes de un equipo en relación con el clima laboral
Poder de decisión	Nivel de autonomía que posee un equipo para tomar decisiones
Control de mi propio trabajo.	Nivel de autonomía que tiene cada individuo en la realización de las tareas
Reorganización	Evento con un gran impacto negativo en el rendimiento que requiere tiempo y esfuerzo para recuperarse.
Trabajo distribuido	Forma de organización en la que, los integrantes de un equipo de desarrollo trabajan colaborativamente por un objetivo sin necesidad de estar geolocalizados en un mismo sitio
Establecimiento de metas	Número de metas a alcanzar por el equipo
Pruebas	Esfuerzo requerido para probar un producto software empleando procesos de automatización.
Herramientas	Las herramientas pueden agregar eficiencia a los procesos.
Duración para resolver la tarea de calendario	Tiempo de duración que le tomó a un integrante completar una tarea.
Rendimiento del código.	Valoración asignada al código por su desempeño
Tamaño del equipo	Número de integrantes de un equipo
Conflictos no resueltos	Porcentaje de conflictos generados en una iteración e incremento que no fueron resueltos

Fuente: esta investigación

TABLA XXXI.

DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA FLEXIBILIDAD

Factor Flexibilidad	Definición
Mejorando el proceso	Nivel de madurez del proceso que desarrollan los integrantes de un equipo.
Inversión de tiempo	Tiempo que le requiere a un equipo avanzar de un nivel de madurez del proceso a otro.
Priorización	Porcentaje de reducción de tareas del equipo que no le agregan valor al proceso en un estado de madurez.
Adaptarse al cambio	Actitud de favorabilidad que presentan los integrantes del equipo en relación con el cambio.
Aprendizaje organizacional	Capacidad para crear, organizar y procesar información, con el fin de generar nuevo conocimiento de manera individual y de equipo, propiciando una cultura para desarrollar nuevas capacidades y mejoras.
Aprendiendo de los fracasos	Grado de aprendizaje de un equipo de desarrollo de software frente a los errores presentados en un sprint o iteración.
Obtener aceptación	Grado de aprendizaje de toda una organización frente a los errores presentados en un proyecto.
Trabajo en progreso	Porcentaje de tareas que se encuentran en ejecución al mismo tiempo.
Tiempo de espera	Tiempo que requiere una tarea para pasar de estado "To Do" al estado "Done"
Tiempo de reunión por sprint	Porcentaje del tiempo invertido en las reuniones del equipo en un time-box.
Porcentaje de tareas perdidas	Porcentaje de tareas planeadas que no fueron realizadas

Fuente: esta investigación

TABLA XXXII.

DEFINICIÓN DE FACTORES: CATEGORÍA ALTO DESEMPEÑO

Factor Alto Desempeño	Definición
Factor de enfoque	Relación entre la velocidad y la capacidad de trabajo
Liderazgo del equipo	Esfuerzo para promover la gestión, comunicación y control de cambios en el equipo.
Relación entre equipos.	Factores que afectan la productividad al relacionarse un equipo con otro.
Visión del equipo.	Grado o nivel de mejora de la productividad de un equipo en el tiempo.
Espíritu de equipo	Nivel de pertenencia de los integrantes de un equipo.
Habilidades sociales	Capacidades de los integrantes para trabajar de manera interdependiente en la búsqueda de un objetivo.
Configuración del equipo	Grado o nivel de relación que presentan las capacidades de los integrantes para la organización de equipos.
Recompensas	Efecto causado en la productividad por una acción de retribución al equipo.
Motivación intrínseca	Grado o nivel de motivación resultado de acciones propias que inciden en la productividad del equipo.
Desarrollo personal	Variación en la mejora personal como resultado de la motivación intrínseca.
Identidad del equipo	Grado o nivel de relación que presentan las capacidades de los integrantes (habilidades sociales) para consolidar la identidad del equipo.

<b>Factor Alto Desempeño</b>	<b>Definición</b>
Sentimiento de Orgullo	Nivel de pertenencia al equipo generado por efectuar un trabajo de calidad
Balance hedónico grupal	Efectividad de las interacciones de los integrantes de un equipo en un periodo de tiempo
Confianza	Grado o nivel de seguridad en el logro del objetivo de un equipo por la interdependencia en el desarrollo de las tareas.
Capacidad del equipo	Cantidad de trabajo que puede hacer el equipo en un sprint
Vinculación	Nivel de pertenencia y de unión que siente un integrante dentro del equipo.
Compromiso	Grado de voluntad de un integrante del equipo para colaborar con los demás miembros

Fuente: esta investigación

Por otra parte, en los estudios analizados solo uno de ellos empleó un modelo estadístico para evaluar la productividad del equipo en equipos ágiles [9].

### ***h) Síntesis***

El mapeo sistemático de literatura efectuado en seis fuentes de información (IEEE Xplore, ACM Digital, Scopus, Compendex, Web of Science, Springer Link) permitió identificar ocho estudios primarios que arrojaron 63 factores para medir productividad de equipo en el desarrollo ágil de software.

A partir de los estudios analizados se hace una aproximación a la definición de productividad de equipo en ASD destacando que es un concepto abstracto, de gran relevancia para las organizaciones de software puesto que funciona como un indicador de mejora continua. Además, la productividad de equipo en ASD está compuesto por factores que generan un impacto y que permiten el logro de los objetivos asociados a las expectativas provenientes de un cliente.

Los factores identificados se clasificaron en cuatro categorías: Significado, Impacto, Flexibilidad y Alto desempeño. Se resalta que en la categoría de Significado hubo factores recurrentes como la Velocidad de equipo, Capacidad de Trabajo y Satisfacción del Cliente, y en la categoría Impacto se percibió que la Colaboración, Comunicación, Calidad y Recursos eran los más frecuentes.

A pesar de que el camino sistemático seleccionado incluyó en la cadena de búsqueda la palabra clave “modelo” para el periodo comprendido entre 2001 y 2021, no se logró identificar elementos con un mayor nivel de abstracción que integre e interrelacione categorías y factores para medir productividad de equipo en ASD.

Los resultados del mapeo sistemático de literatura se publicaron en el artículo denominado: “Team Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study,” en International Conference on Applied Informatics, ICAI 2022, Communications in Computer and Information Science, vol 1643. Springer, Cham.

## 2) *Percepciones de los profesionales de la industria de software sobre productividad de equipo en ASD*

En el área de la Ingeniería de software, las percepciones de los profesionales en la Industria de software pueden ser de gran valor para procesos investigativos [84]. Para recopilar dichas ideas u opiniones se puede evidenciar el uso de métodos integrales de recolección de información como la encuesta [69], siendo un mecanismo eficaz aplicable a estos contextos y el cual permite generar un análisis cuantitativo a partir de las respuestas identificadas [76].

La recopilación de las perspectivas de los profesionales en la industria del software acerca de la productividad del equipo en ASD se llevó a cabo siguiendo las seis (6) etapas establecidas por los autores Kitchenham y Pfleeger en [76] para la formulación y construcción de una encuesta (Ver Fig. 12).



Fig. 12. Proceso de realización de la encuesta

Fuente: una adaptación de la propuesta de Kitchenham y Pfleeger [76]

### a) *Definición de objetivos*

En esta etapa se inicia con la formulación del objetivo del instrumento de recolección, el cual, se fundamenta en el problema de investigación [76]. En consecuencia, el objetivo es caracterizar las percepciones de productividad a nivel de equipo que tienen los profesionales que hacen uso de métodos o prácticas en ASD.

### b) *Diseño de la encuesta*

El presente estudio se clasifica como uno de tipo transversal [76]. El cuestionario fue dirigido a profesionales que trabajaban en la industria del software y estaban involucrados en equipos ágiles. La recopilación de datos tuvo lugar durante el período de septiembre a octubre de 2022.

### *c) Elaboración el instrumento*

En la construcción del instrumento, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos a través del SMS. Se consideraron las diferentes concepciones de productividad de equipo en ASD identificadas durante este proceso, así como los factores involucrados en su medición.

Para la formulación de las preguntas se tuvieron en cuenta tanto formatos cerrados como abiertos [76]. En las preguntas cerradas, se proporcionaron respuestas de selección múltiple para abarcar diversas opciones y perspectivas de los participantes. Además, se incluyeron preguntas abiertas con el objetivo de permitir una mayor profundidad en las respuestas, brindando a los encuestados la oportunidad de expresar sus opiniones y experiencias de manera más detallada.

El instrumento se organizó a través de cuatro secciones.

- a) **Sección generalidades.** En esta parte, se proporcionan al participante las indicaciones necesarias para llenar el cuestionario y se le pide que otorgue su consentimiento informado para el procesamiento de la información recopilada.
- b) **Sección información sociodemográfica.** Engloba un conjunto de preguntas elaboradas con el propósito de obtener información sociodemográfica de los encuestados.
- c) **Sección percepciones sobre productividad de equipo en ASD.** Comprende las preguntas formuladas para indagar acerca de cómo los profesionales de la industria del software, que implementan metodologías ágiles, perciben la productividad de sus equipos de trabajo.
- d) **Sección elementos de medición de productividad de equipo en ASD.** Incluyen preguntas enfocadas en investigar cómo los encuestados evalúan la productividad de un equipo.
- e) **Sección factores en la medición de productividad de equipo.** En esta sección se pretende que el encuestado determine el nivel de relevancia que tiene los factores de medición de productividad de equipo.

El cuestionario constaba de 73 ítems, y se estimó que el tiempo necesario para completarlo sería de aproximadamente 10 minutos.

### *d) Evaluación de la confiabilidad del instrumento*

Para validar el cuestionario, se involucró a un panel compuesto por dos (2) especialistas, los cuales evaluaron la relevancia del contenido de cada interrogante. Se tuvieron en cuenta las observaciones proporcionadas por estos expertos, llevando a cabo las modificaciones requeridas en consecuencia.

El cuestionario fue implementado de manera digital utilizando la herramienta Google Forms. El formulario se encuentra disponible en el siguiente enlace <https://forms.gle/4oV6s3nVjcyFxdJP7>.

Posteriormente, se llevó a cabo una prueba piloto con la participación de diez (10) profesionales, con el propósito de detectar eventuales obstáculos en el proceso de completar el cuestionario. Con base en las observaciones y comentarios recibidos durante esta fase de prueba, se efectuaron las adecuaciones necesarias en el cuestionario para su mejora y para optimizar su facilidad de uso.

### e) *Obtención de datos válidos*

La población seleccionada para este estudio estuvo compuesta por los integrantes de los equipos de desarrollo de software que implementan la agilidad en sus procesos. Para determinar la muestra, se utilizó un método de muestreo no probabilístico intencional, en el cual se tomaron en cuenta criterios específicos de inclusión y exclusión que se encuentran descritos en detalle en la Tabla XXIII.

TABLA XXXIII.

#### CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN PARA LA SELECCIÓN DE PARTICIPANTES

Criterio de inclusión	Criterio de exclusión
Ser integrante de un equipo de desarrollo de software.	Desarrollar software de forma individual
Hacer uso de métodos/técnicas del desarrollo ágil de software.	Hace uso de métodos/técnicas tradicionales.

Fuente: esta investigación

### f) *Análisis de resultados*

El análisis de los resultados obtenidos brindó una comprensión más profunda de las respuestas proporcionadas por los participantes, lo que a su vez condujo a la formulación de conclusiones significativas en relación a estos hallazgos [76].

La encuesta se aplicó a un total de 82 profesionales del ámbito de la industria del software, quienes contribuyeron de manera voluntaria en el proceso de recopilación de información. La recolección de datos se llevó a cabo a lo largo de un período de sesenta (60) días, durante los cuales se estableció contacto y se incentivó a los interesados a participar en la encuesta.

#### **Información Sociodemográfica**

Los resultados extraídos de la encuesta revelaron que el 90.2% de los encuestados pertenecían al género masculino, lo que equivale a un total de 74 participantes. Por otro lado, el 9.8% restante corresponde al género femenino, con la participación de 8 individuos.

En cuanto al país de residencia, la mayoría de los encuestados (93.9%) provenían de Colombia, con un total de 77 encuestados. Los países restantes como México, Perú, Argentina y Estados Unidos representaron el 6.1% restante, con 5 participantes en total.

En términos de ciudad o municipio de residencia, se destacaron algunos lugares relevantes. Pasto fue la ciudad con mayor participación, representando el 59.8% de los encuestados, seguida por Bogotá con un 8.5%. Además, ciudades como Cali e Ipiales representaron el 3.7% cada una.

En cuanto a la edad de los encuestados (ver Fig. 13), se constató que el 58.5% de los participantes se ubicaba dentro del rango de edad de 24 a 36 años, lo que sugiere que los profesionales ingresan a las empresas de software en etapas tempranas de sus vidas laborales. Además, se pudo discernir que la edad máxima registrada fue de 50 años.

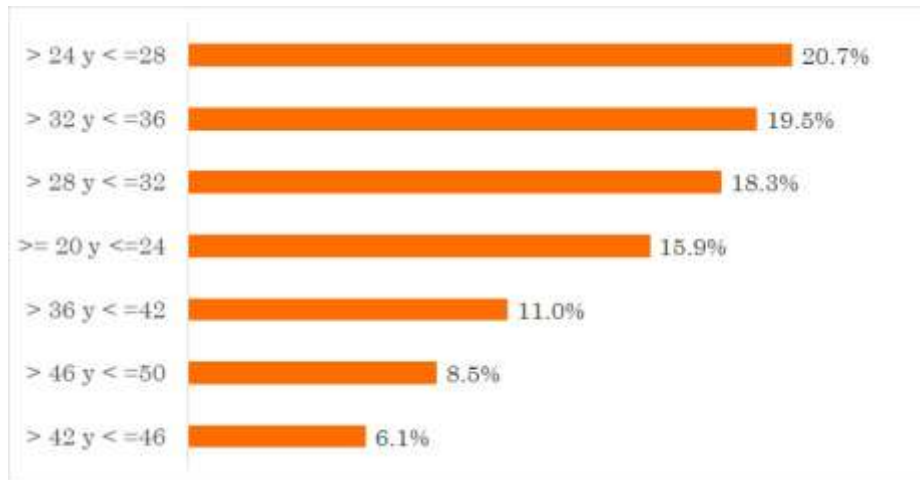


Fig. 13. Edad de los encuestados  
Fuente: Elaboración propia

Respecto al periodo durante el cual los profesionales han estado comprometidos en proyectos de desarrollo de software, se aprecia que el 73.2% de ellos posee una experiencia de tres años o más en esta esfera. Contrariamente, únicamente el 11% de los participantes dispone de una experiencia inferior a un año en este dominio (Ver Fig. 14).

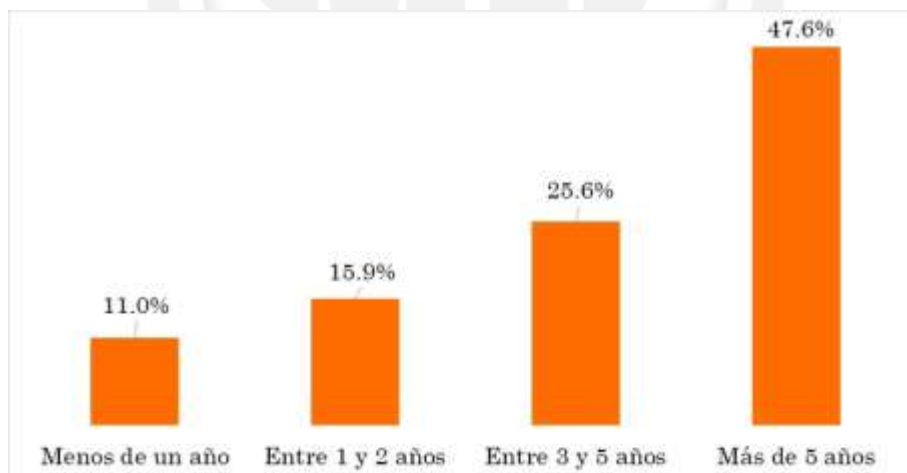


Fig. 14. Tiempo que llevan los profesionales desempeñándose en proyectos de software  
Fuente: Elaboración propia

En relación al nivel educativo más alto alcanzado por los encuestados, se puede notar que el 58.5% (48) de ellos ha completado su educación de pregrado. Por otro lado, el 24.4% (20) ha logrado un nivel de educación de posgrado, el 12.2% (10) ha obtenido una formación de nivel especialista, el 3.7% (3) son tecnólogos y solamente un participante, representando el 1.2%, cuenta con una formación de bachillerato.

En cuanto a las funciones que ejercen los profesionales encuestados, se observa que la mayoría de ellos (70.7%, equivalente a 58 participantes) desempeñan el rol de Desarrolladores de Software. Esto es seguido por el puesto de director de Proyectos con un 6.1% (5), Scrum Master (4), Arquitecto de Software (4) y Analista Funcional (4), todos con un porcentaje de 4.9% cada uno. Los roles de director de Tecnología y Agile Coach tienen una representación del 2.4% (2)

respectivamente. Por último, los roles de Ingeniero de Ciberseguridad, Analista de Datos y Administrador de Bases de Datos cuentan con una participación del 1.2% (1) cada uno.

En lo que respecta a la modalidad laboral dentro de la organización, se resalta que el 63.4% (52) de los encuestados desempeñan sus labores de forma remota, mientras que el 18.3% (15) lo hacen en un entorno presencial y otro 18.3% (15) opta por una modalidad de trabajo híbrida.

En relación al origen de la compañía donde trabajan los participantes, se nota que el 72% (59) forma parte de empresas de origen nacional, mientras que el 28% (23) está empleado en empresas extranjeras.

Al analizar el tamaño de las empresas donde laboran los participantes, se destaca que el 36.6% (30) trabaja en compañías grandes, el 28% (23) en pequeñas empresas, el 24.4% (20) en medianas empresas, el 5% (6.1%) en microempresas, y el 4.9% desconoce esta información.

En cuanto al método ágil utilizado por los profesionales en sus equipos de trabajo, se observa que el 90.2% (74) utiliza Scrum como método principal. En segundo lugar, el 31.7% (26) utiliza Kanban, y finalmente, el 15.9% (13) utiliza Extreme Programming, como se muestra en la Fig. 15.

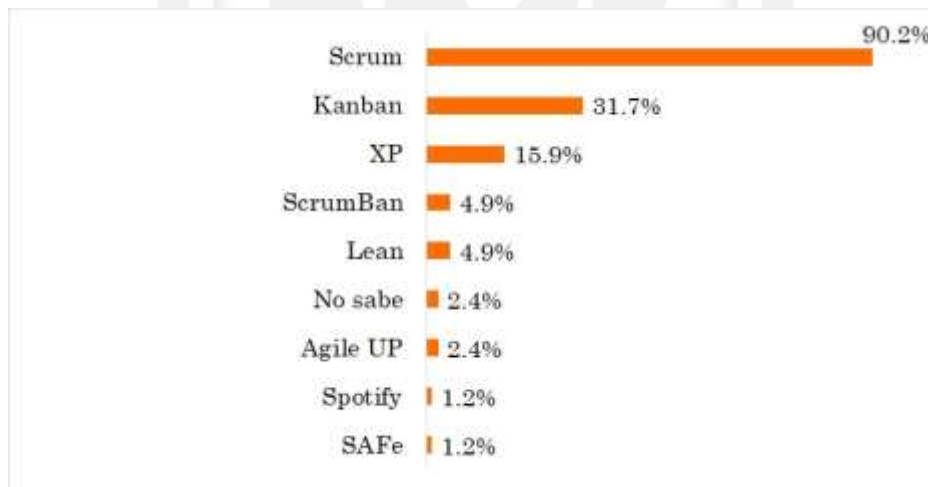


Fig. 15. Métodos ágiles empleados por los profesionales de software  
Fuente: Elaboración propia

### Percepciones de productividad.

Una vez que se estableció de manera integral el concepto de productividad de equipo en el contexto ASD, tomando en cuenta las categorías previamente definidas en el mapeo sistemático de la literatura presentadas en las Tablas XXV- XXVIII, se procedió a contrastar este concepto con las percepciones de los 82 profesionales de la industria del software, cuyas opiniones fueron recopiladas mediante la encuesta.

Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que, según el 61% (50) de los participantes, la productividad se concibe como un indicador de mejora dentro de los procesos del equipo, lo cual constituyó la percepción más prevalente entre los encuestados (ver Fig. 16). Asimismo, el 59.8% (49) afirmó que la productividad está relacionada con la consecución de metas alineadas a las necesidades del cliente. Además, el 53.7% (44) consideró que la medición de la productividad resulta relevante para la organización. Por otro lado, el 36.6% (30) opinó que la productividad se conforma mediante una interacción de diversos factores que tienen un impacto en el desempeño



del equipo. Por último, solamente un 6.1% (5) definió la productividad con un enfoque netamente abstracto.

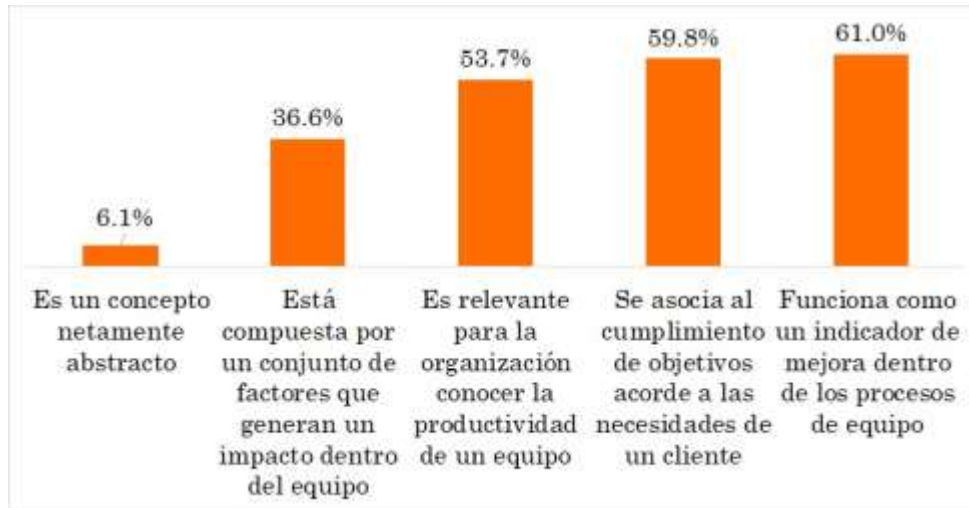


Fig. 16. Percepciones de productividad  
Fuente: Elaboración propia

La comparación entre las perspectivas de los profesionales y la literatura ha permitido identificar notables discrepancias. En este sentido, se evidencia que el 87.5% de los referentes teóricos (ver Tabla XXIV) argumentan que la productividad se compone de una serie de factores que contribuyen a su medición. Sin embargo, en el caso de los profesionales encuestados, únicamente el 36.6% comparte esta concepción.

Por otra parte, la orientación que los profesionales tienen hacia la productividad se enfoca en su función como indicador de mejoras dentro de los procesos de equipo, una percepción que es compartida por el 61% de los encuestados. En contraste, la literatura no resalta tanto este aspecto. No obstante, tanto la literatura como las percepciones de los profesionales coinciden en que la productividad está estrechamente relacionada con el logro de objetivos. Esta noción se repite tanto en la literatura como en las perspectivas de los encuestados.

### ***Elementos de medición de productividad***

En lo que concierne a los componentes utilizados para medir la productividad, se exploró con los profesionales acerca de los indicadores que emplean, como evalúan la productividad en su equipo y las herramientas utilizadas con esta finalidad.

Es relevante resaltar que los resultados derivados de la encuesta reflejaron una notable consonancia con lo planteado en la literatura. No se evidencia un proceso de medición claramente delineado; en cambio, todas las perspectivas de los encuestados estuvieron intrínsecamente ligadas a los elementos que determinan e impactan en la productividad del equipo en el marco ASD, como se expuso en la sección previa.

En lo referente a los criterios adoptados por los profesionales para evaluar la productividad en su equipo, se identificó que la relación entre la labor efectuada y el trabajo planificado prevaleció como la alternativa más predominante, siendo seleccionada por el 64.6% de los participantes (ver

Fig. 17). Esta perspectiva guarda correlación con el factor de **Capacidad de Trabajo** delineado en la literatura.

Adicionalmente, los expertos en la industria del software destacaron que el trabajo completado en el transcurso de un incremento o iteración constituye otro indicador de gran relevancia para la medición de la productividad, siendo respaldado por el 58.5% de los encuestados. Esta perspectiva también se vincula con el factor de **Velocidad** según lo expuesto en la literatura.



Fig. 17. Indicadores que los profesionales utilizan para medir la productividad  
Fuente: Elaboración propia

La evaluación del cumplimiento realizado por parte del equipo fue considerada importante por el 54.9% de los encuestados. Este aspecto se asocia al Factor de **Calidad** según la literatura revisada.

En cuanto al logro de las expectativas de un cliente, el 52.4% de los participantes subrayó su relevancia en la evaluación de la productividad del equipo. Esta perspectiva se alinea con el Factor de **Satisfacción del Cliente** identificado en la literatura.

La comunicación efectiva en el desarrollo de las tareas asignadas fue valorada por el 47.6% de los encuestados como un aspecto relevante en la medición de la productividad. Este aspecto se relaciona con el Factor de **Comunicación** descrito en la literatura.

En contraposición, la interrelación en la ejecución de las tareas asignadas y la utilización de elementos de trabajo en una iteración fueron alternativas menos enfatizadas, obteniendo el 19.5% y el 9.8%, respectivamente. Estas elecciones se correlacionan con los Factores de **Colaboración** y **Recursos** tal como se describen en la literatura analizada.

En un segundo aspecto, al consultar a los profesionales de la industria del software sobre cómo evalúan la productividad en su equipo (ver Fig. 18), se destaca que el 32.9% de los encuestados la vincula con la cantidad de trabajo efectuado en relación a lo planificado al comienzo de una iteración. Esta perspectiva se conecta con el Factor de **Capacidad de Trabajo** delineado en la literatura examinada.

Un 22% de los participantes señaló que la productividad del equipo puede ser evaluada por la cantidad de tareas finalizadas en un intervalo de tiempo específico, lo cual guarda relación con el Factor de **Velocidad** de acuerdo a la literatura consultada.

Además, los profesionales describieron que el seguimiento de tareas (19.5%), el logro de objetivos (14.6%) y la realización de reuniones de manera constante (8.5%) son elementos fundamentales en la medición de la productividad. Aunque estos aspectos no están directamente ligados a un factor específico de productividad según el SMS, contribuyen a establecer que el monitoreo de tareas y las reuniones periódicas permiten visualizar el avance del equipo hacia el alcance de metas, facilitando la identificación de labores completadas y pendientes en el transcurso de una iteración.

Adicionalmente, se hicieron alusiones a otras alternativas, como la medición basada en la cantidad de trabajo que un equipo puede llevar a cabo en una iteración (7.3%), la cual está relacionada con el Factor de **Capacidad del Equipo**, y la evaluación de la Satisfacción del Cliente (4.9%), que se asocia con el Factor de **Satisfacción del Cliente** según lo delineado en la literatura.

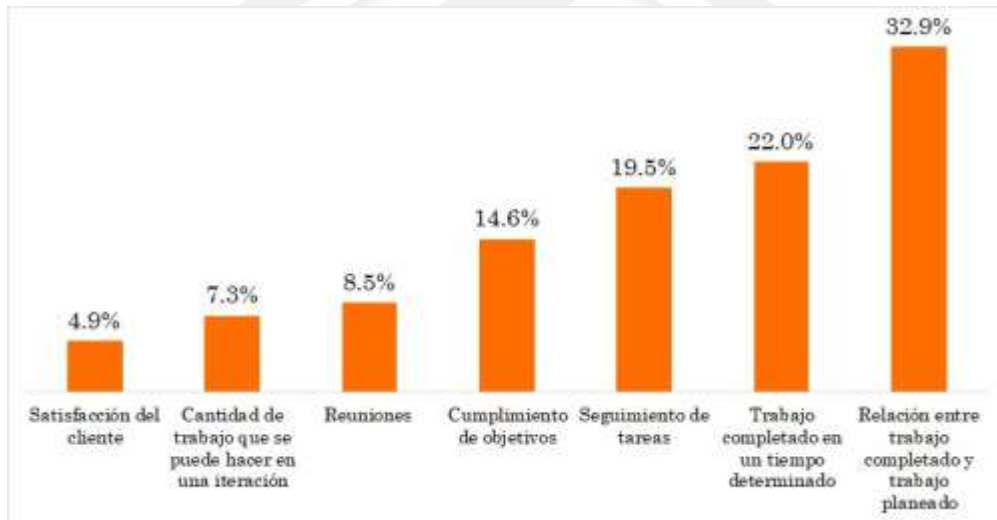


Fig. 18. Medición de productividad en su equipo  
Fuente: Elaboración propia

Por último, en relación a las herramientas informáticas empleadas por los profesionales para evaluar la productividad del equipo, sobresale que un 34.9% de los encuestados señaló el uso de Jira. En segundo lugar, se encuentra Easy Redmine, mencionado por un 13.3%, seguido de Azure DevOps con un 9.6%. Trello y Excel también fueron citados, con un 8.4% y un 7.2% respectivamente. Es importante notar que en la literatura consultada no se halló información al respecto.

### Factores de medición de productividad

En la sección final de la encuesta, se expusieron a los participantes los elementos vinculados con la evaluación de la productividad del equipo en el ámbito del desarrollo ágil de software. Se solicitó a los participantes que calificaran el nivel de importancia de cada factor utilizando una escala que abarcaba las categorías **Muy Alto (MA)**, **Alto (A)**, **Medio (M)**, **Bajo (B)** y **Muy Bajo (MB)**.

Es importante destacar que los factores que obtuvieron una calificación de importancia superior al 80% en la escala entre las categorías Muy Alto (MA) y Alto (A) son considerados como relevantes para esta investigación.

Las Fig.19 a la 22 exponen los factores seleccionados para la medición de productividad valorados por los profesionales como importantes en cada una de las categorías establecidas.

Dentro de la Categoría **Significado**, es notable la relevancia de cinco factores, destacando al factor **Velocidad** con un 97.6%. En la Categoría **Impacto** se consideran seis factores, resaltando en primer lugar al factor Comunicación con un 92.7%. En la categoría **Flexibilidad** se exponen cuatro factores fundamentales, donde el factor Obtener Aceptación sobresale con un 86.6%. Finalmente, en la categoría **Alto Desempeño**, se destacan 8 factores considerando que el factor Compromiso tiene el mayor nivel de relevancia con un 88.9%.

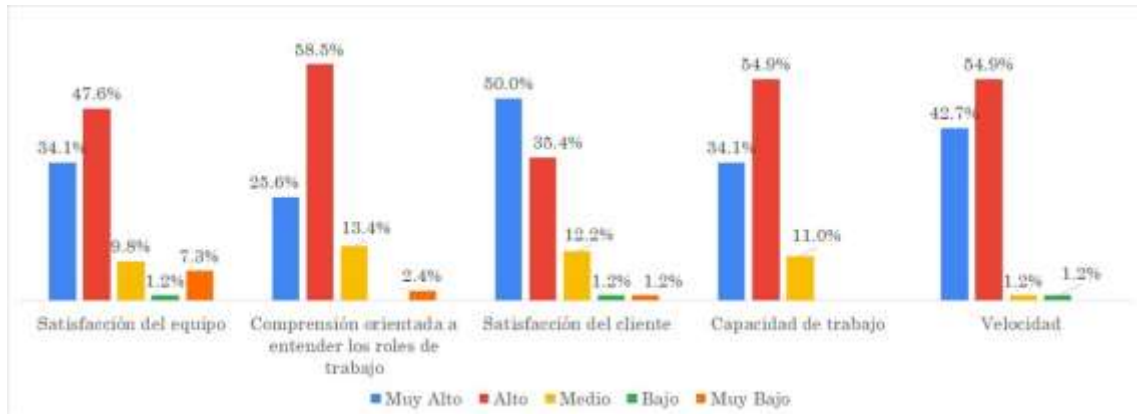


Fig. 19. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Significado  
Fuente: Elaboración propia

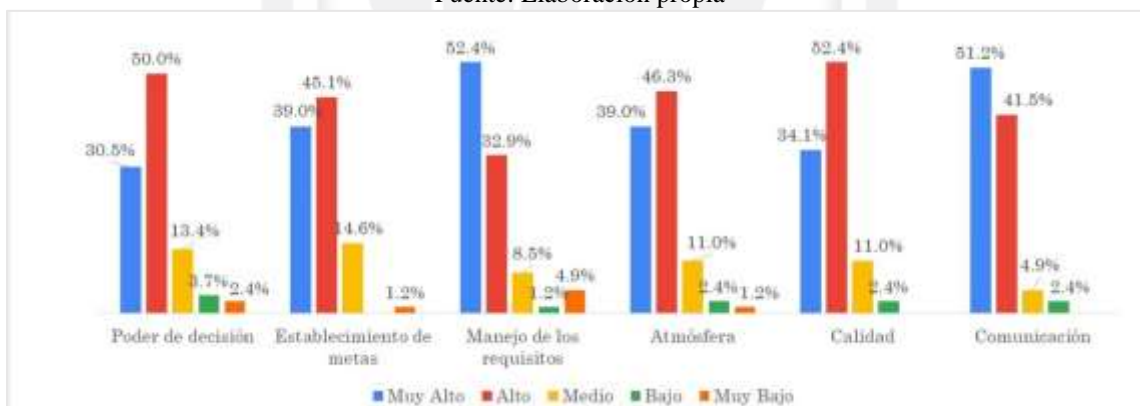


Fig. 20. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Impacto  
Fuente: Elaboración propia

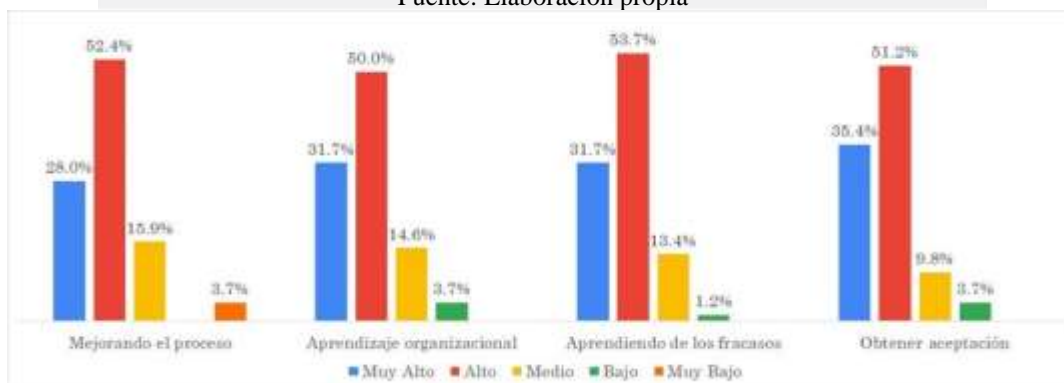


Fig. 21. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Flexibilidad  
Fuente: Elaboración propia

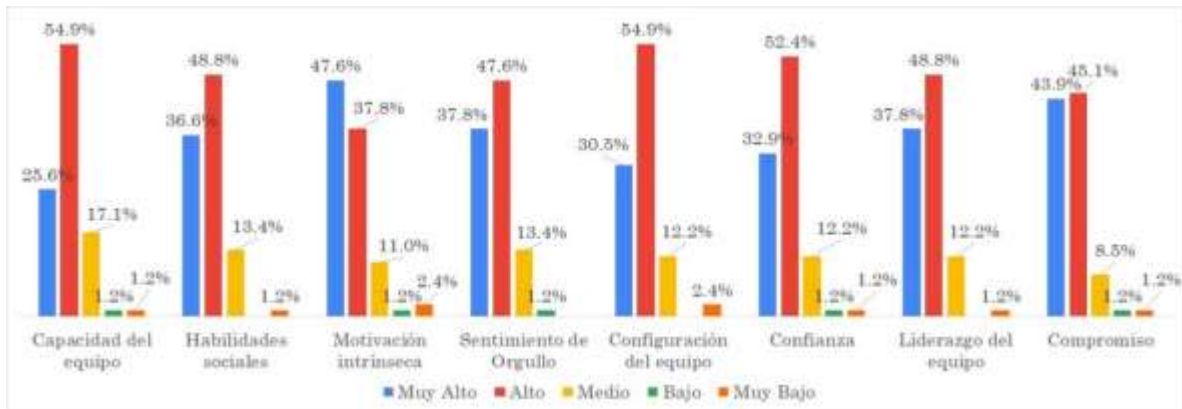


Fig. 22. Factores de medición de productividad valorados en la categoría Alto Desempeño  
Fuente: Elaboración propia

### g) Síntesis

Mediante la aplicación de la encuesta a 82 profesionales de la Industria de software, se logró obtener una valiosa comprensión de las percepciones, elementos de medición y factores que impactan en la productividad de los equipos en un contexto ASD.

Los resultados revelaron que la mayoría de los encuestados (90.2%) trabajan con el marco de trabajo Scrum, lo que confirma su popularidad y amplio uso en las organizaciones. Además, se observó que el 70.7% de los participantes desempeñan el rol de desarrolladores de software, lo que sugiere que las respuestas obtenidas reflejan la experiencia y perspectiva de aquellos involucrados en el trabajo diario de un equipo.

En cuanto a las perspectivas acerca de la productividad, se observó una marcada correspondencia con las conclusiones extraídas del SMS. Específicamente, los profesionales de la industria del software concuerdan en que la productividad se posiciona como un indicador clave para la optimización de los procesos del equipo y para lograr los objetivos dirigidos hacia los clientes.

Al cotejar las ideas presentadas en el SMS con las opiniones de los profesionales de la Industria del Software, emerge una similitud en los componentes de medición, dado que ambas perspectivas los vinculan con los factores de productividad. Es de particular relevancia destacar que la comparación entre la cantidad de trabajo realizado en relación a la planificación inicial de una iteración (Capacidad de trabajo), la cantidad de trabajo completado en un período específico (Velocidad) y la satisfacción del cliente son elementos significativos en esta evaluación.

Aunque Jira es la herramienta computacional más utilizada por los profesionales para medir la productividad, se debe tener en cuenta que su enfoque principal se encuentra en la gestión de proyectos y el trabajo en equipo en general. Por lo tanto, sería interesante explorar otras herramientas o técnicas computacionales que contribuyan específicamente este proceso.

Tras evaluar el nivel de importancia de los factores identificados en la literatura mediante una escala Likert, se determinó que aquellos que superaron el 80% en la categoría de Muy Alto y Alto fueron considerados relevantes por los profesionales.

Dentro de la categoría de Significado, se identificaron como relevantes los factores de Velocidad, Capacidad de trabajo, Satisfacción del Cliente, Comprensión de los roles de trabajo y Satisfacción del equipo.

Los factores de Comunicación, Calidad, Atmósfera, Manejo de los requisitos, Establecimiento de metas y Poder de decisión fueron identificados como significativos dentro de la categoría de Impacto.

Los profesionales valoraron de manera destacada los factores de Obtener Aceptación, Aprendizaje de los fracasos, Aprendizaje organizacional y Mejora del proceso en la categoría de Flexibilidad.

Por último, desde la perspectiva de los encuestados, los factores que se consideran contribuyentes para alcanzar altos niveles de desempeño son: el Compromiso, el Liderazgo del equipo, la Confianza, la Configuración del equipo, el Sentimiento de Orgullo, la Motivación Intrínseca, las Habilidades sociales y la Capacidad del equipo.

Es importante destacar que los factores de la categoría Significado (Capacidad de trabajo, Velocidad y Satisfacción del Cliente) e Impacto (Calidad, Comunicación) fueron considerados tanto por los profesionales como indicadores utilizados para medir la productividad, además de ser percibidos como factores de alta importancia.

Aunque los profesionales no hicieron una mención específica de los factores vinculados a las categorías de Flexibilidad y Alto Desempeño durante la etapa actual de evaluación de la productividad en equipos ASD, sí demostraron reconocer su importancia al calificarlos como relevantes en la última sección del cuestionario. Este hecho sugiere que la búsqueda constante de mejoras, mediante el aprendizaje individual y organizacional, la potenciación de habilidades interpersonales y el entorno laboral en el cual opera el equipo, desempeñan un papel fundamental en la consecución de niveles superiores de rendimiento.

Los resultados del instrumento de recolección de información con profesionales de la industria se visibilizan en el artículo titulado “Un estudio exploratorio de las percepciones de productividad en equipos de software ágil” en la revista Tecnológicas, vol. 26, n.º 56 publicada en mayo 2023.

# MAESTRÍA EN

---

## INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

## **B. MODELO DE EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPO EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE.**

En esta sección se pretende consolidar el modelo de evaluación de productividad de equipo en ASD considerando los resultados obtenidos en el SMS y en la encuesta aplicada a profesionales de la industria de software. Las actividades realizadas en esta etapa se pueden detallar en la Fig. 23.

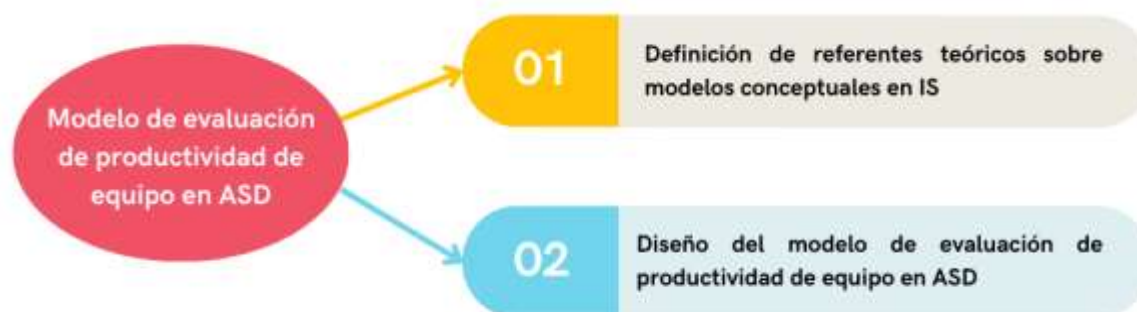


Fig. 23. Actividades desarrolladas en el segundo objetivo  
Fuente: Elaboración propia

### **1) Definición de referentes teóricos sobre modelos conceptuales en IS**

Actualmente en Ingeniería de software (IS) existen diversos modelos que relacionan a un proceso conformado por un conjunto de actividades, acciones y tareas que serán ejecutadas de cierta forma para alcanzar un propósito [34].

La presente investigación tiene como finalidad construir un modelo para la medición de productividad de equipo en ASD el cual seguirá un enfoque conceptual.

En IS se define a un modelo conceptual como una representación simplificada y abstracta de un proceso real a partir de una visión particular [4],[5],[6] proveniente de una percepción humana [85]. La representación del modelado conceptual es iterativa y repetitiva a lo largo de todo el ciclo de desarrollo [4].

El modelado conceptual tiene origen hace más de cuatro décadas con enfoques orientados a Base de datos, Inteligencia Artificial y lenguajes de programación [85]. En IS los modelos conceptuales juegan un rol relevante para la efectividad de la comunicación con los interesados [6].

El modelado conceptual al ser una representación visual promueve la comunicación y un entendimiento común o compartido entre los miembros de un equipo de desarrollo [85] de cómo un sistema debe soportar un dominio [86].

A partir de los esquemas conceptuales se pueden modelar los diferentes dominios de aplicación de un sistema [87], y un modelo solo estará completo si incluye toda la información asociada a ellos [88].

El modelado conceptual puede ser representado a partir de análisis ontológicos [6], lenguaje natural [87] o diagramas, aptos y comprensibles [85].

Las formas más comunes de simbolizar modelos conceptuales es haciendo uso del Lenguaje Unificado de Modelado (por sus siglas en inglés UML), Diagrama Entidad Relación (por sus siglas en inglés ERD) y el modelado de procesos de negocios (por sus siglas en inglés BPMN) [6].

UML es uno de los lenguajes más relevantes para la elaboración de esquemas conceptuales [87] puesto que proporciona distintas gramáticas para describir la estructura, el comportamiento y las interacciones de un sistema desde diferentes puntos de vista [6]. Los diagramas de casos de uso, diagramas de actividad, diagramas de máquina de estado, diagramas de clase [86],[89] y diagramas de objetos [87].

En el agilismo, el uso de modelos conceptuales no es común, ya que el esfuerzo requerido para crear los modelos entra en conflicto con los valores ágiles [86]. Sin embargo, el presente proyecto no pretende que los miembros de equipos ASD implementen modelos conceptuales para la medición de productividad, únicamente se selecciona al diagrama de clases de UML como el mecanismo para formalizar de manera gráfica el modelo propuesto en esta investigación desde una perspectiva estructural.

Dentro de la literatura se identificó que los diagramas de clase son los más usados para plasmar modelos conceptuales tal y como lo especifican los estudios relacionados en [86], [89], [90], [91], [92].

A continuación, se exponen los detalles más relevantes sobre diagrama de clases y los elementos que lo componen.

#### a) *Diagrama de clases*

El diagrama de clases de UML detalla los objetos relevantes del dominio de un problema, especificando para cada objeto sus atributos, operaciones, relaciones y roles [88]. Un diagrama de clases comparte propiedades tales como un nombre y un contenido gráfico que es la proyección de un modelo [93]. La Tabla XXXIV resume una descripción de los elementos de un diagrama de clases.

TABLA XXXIV.  
ELEMENTOS DE UN DIAGRAMA DE CLASES

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Representación</b>
Clase	Descripción de un conjunto de objetos que se originan del mundo real y son de gran importancia en el problema a modelar [94]. Una clase comparte una estructura y un comportamiento común entre sus objetos [95].	Se representa gráficamente como un rectángulo [93] y se describe a través de un sustantivo en singular [94].
Atributo	Propiedad o característica de un conjunto de objetos [94].	Se describe a través de un sustantivo en singular [94].
Método	Representa el comportamiento que tiene un conjunto de objetos [94]. Un método corresponde con una operación o un servicio de la clase [95].	Se describe a través de un verbo [94].
Relaciones	Definen cómo se asocian las clases. Hay tres tipos básicos. Dependencia, Asociación y Generalización [94].	Asociación. Se visualiza como una línea continua que conecta las clases relacionadas entre sí. Estas pueden ser unidireccionales o bidireccionales [96].



Elemento	Descripción	Representación
		Dependencia. se representa visualmente mediante una línea discontinua con una punta de flecha [96].
		Generalización. Se grafica mediante una flecha de triángulo blanco la cual apunta de la subclase hacia la superclase [97].

Fuente: esta investigación

Un diagrama de clases se puede representar gráficamente como se detalla en la Fig. 24.

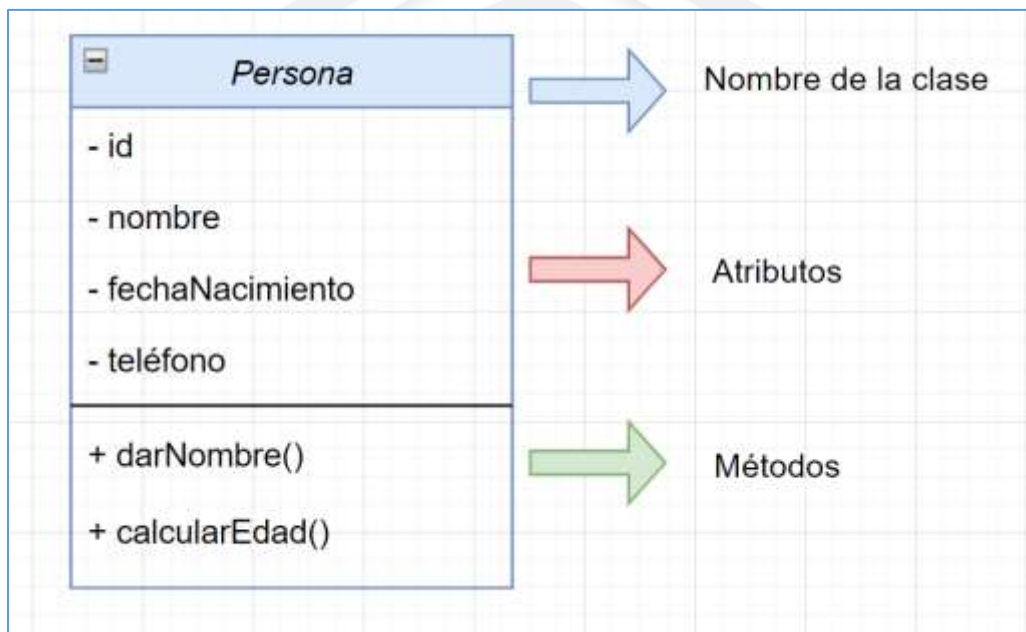


Fig. 24. Diagrama de clases y sus elementos  
Fuente: Elaboración propia

Las clases pueden relacionarse de diferentes maneras, su representación gráfica se puede detallar en las Fig. 25-27.

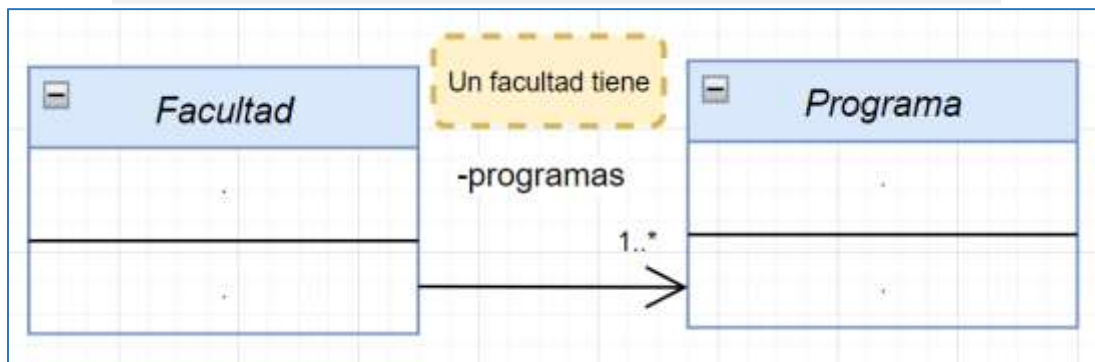


Fig. 25. Relación de Asociación  
Fuente: Elaboración propia

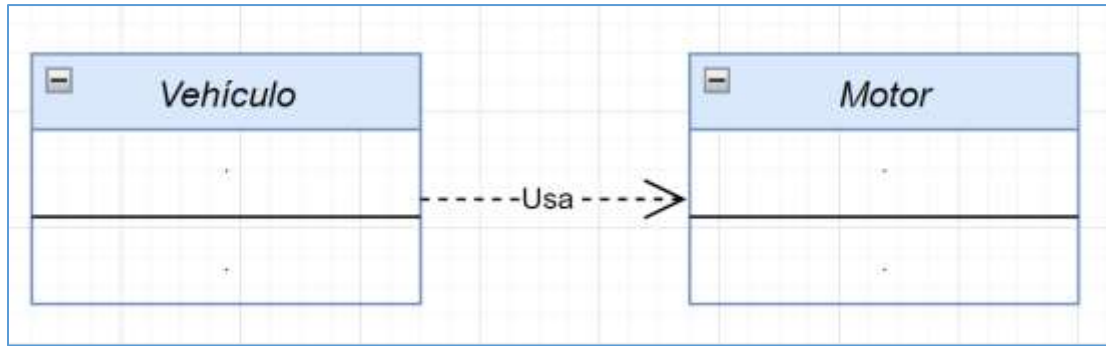


Fig. 26. Relación de Dependencia  
Fuente: Elaboración propia

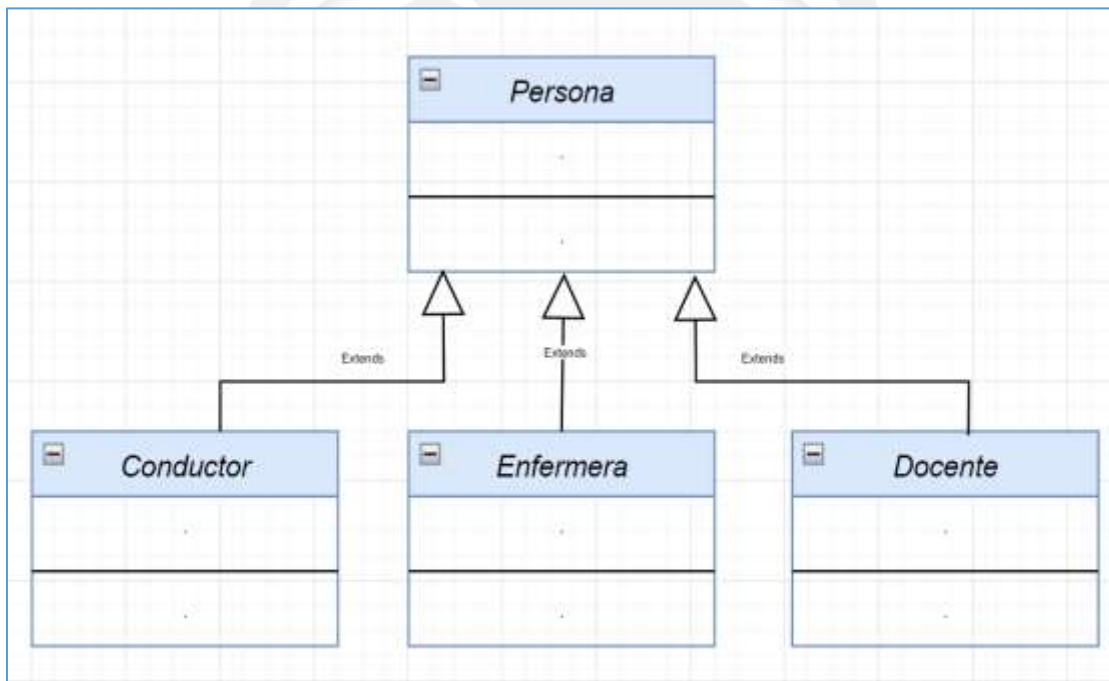


Fig. 27. Relación de Generalización  
Fuente: Elaboración propia

## 2) *Diseño del modelo de evaluación de productividad*

En esta sección se diseña un modelo conceptual para la medición de productividad con el fin de proporcionar los elementos necesarios para que los equipos ASD pueden evaluar y mejorar su desempeño.

Para elaborar la propuesta de diseño, se plantearon tres interrogantes que se busca dar respuesta con el modelo de acuerdo con Fenton y Bieman [3]. Los interrogantes son ¿Qué medir?, es decir, identificar el objetivo principal del modelo; ¿Cómo medir?, lo que significa establecer la forma o manera del objeto de la medición; y finalmente, ¿Qué se requiere para apoyar la medición?, lo cual hace referencia a recursos que apoyen el proceso de medición.

### a) *Objetivo de la medición*

Dentro de este componente se pretende incorporar los factores de medición de productividad, resultantes del análisis del mapeo sistemático de literatura y la aplicación del instrumento de recolección de información con profesionales de la industria de software.

Con la realización del SMS se identificaron 63 factores de productividad de equipo en ASD los cuales fueron clasificados en cuatro categorías: Significado, Impacto, Flexibilidad y Alto Desempeño. Posteriormente con la ejecución de la encuesta a 82 integrantes de equipos ASD se determinó la importancia que dichos factores tienen, estableciendo que solo 23 de ellos fueron evaluados con un nivel de relevancia entre Alto y Muy Alto.

Teniendo en cuenta que, el factor Capacidad del equipo al estar relacionado con la cantidad de trabajo que puede hacer el equipo en una iteración, y al asociarse con una percepción vista desde un enfoque grupal se traslada de la Categoría Alto Desempeño a Significado.

De acuerdo con la percepción de los profesionales de la industria de software, los factores seleccionados se agrupan en las categorías definidas en la Tabla XXXV.

TABLA XXXV.

#### FACTORES SELECCIONADOS POR PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA DE SOFTWARE

<b>Categoría por SMS</b>	<b>Factor</b>
Significado	Satisfacción del equipo
	Comprensión de los roles de trabajo
	Satisfacción del cliente
	Capacidad de trabajo
	Velocidad
	Capacidad del equipo
Impacto	Poder de decisión
	Establecimiento de metas
	Manejo de los requisitos
	Atmósfera
	Calidad
	Comunicación
Flexibilidad	Mejorando el proceso
	Aprendizaje organizacional
	Aprendiendo de los fracasos
Alto Desempeño	Obtener aceptación
	Habilidades sociales
	Motivación intrínseca
	Sentimiento de Orgullo
	Configuración del equipo
	Confianza
Liderazgo del equipo	
Compromiso	

Fuente: esta investigación

Machuca y Gasca [98] destacan que, los factores socio humano (FSH) son considerados aspectos fundamentales dentro de las organizaciones de software al proporcionar beneficios tales como una mejor dirección de sus proyectos, eficiencia de recursos como tiempo y costos, y una incidencia positiva en la productividad de sus equipos. Las autoras a través de una revisión de literatura [99]

identificaron cincuenta y siete (57) FSH de los cuales tras un proceso de depuración estos fueron reducidos a trece (13) [100].

Los estudios preliminares, fueron determinantes para esta investigación puesto que contribuyeron a establecer que, de los 23 factores identificados, el 52.17% de ellos se relacionan con FSH. Por consiguiente, la categoría Alto Desempeño es renombrada por Socio Humano puesto que todos los factores que hacían parte de esta categoría (7) están relacionados con FSH.

Lo anterior, permite inferir que los FSH juegan un papel esencial para lograr altos niveles de desempeño en un equipo y que el proceso de software que se está desarrollando sea exitoso [100].

Por otra parte, se identificó que cinco (5) factores considerados en las categorías de Significado, Impacto y Flexibilidad también hacen parte de Socio Humano.

Los factores Socio Humano identificados en esta investigación se pueden observar en la Tabla XXXVI.

TABLA XXXVI.  
FACTORES SOCIO HUMANO IDENTIFICADOS EN ESTE ESTUDIO

Categoría definida en el SMS	Factor	FSH al que pertenece según [100]
Alto Desempeño	Habilidades sociales	Empatía y relaciones interpersonales
Alto Desempeño	Motivación intrínseca	Motivación
Alto Desempeño	Sentimiento de Orgullo	Satisfacción laboral
Alto Desempeño	Configuración del equipo	Cohesión del equipo
Alto Desempeño	Confianza	Colaboración
Alto Desempeño	Liderazgo del equipo	Liderazgo
Alto Desempeño	Compromiso	Compromiso
Impacto	Poder de decisión	Autonomía
Impacto	Atmósfera	Satisfacción laboral
Impacto	Comunicación	Comunicación
Significado	Satisfacción del equipo	Satisfacción laboral
Flexibilidad	Obtener Aceptación	Compromiso

Fuente: esta investigación

Cabe resaltar que con la revisión de la literatura en los estudios [99] y [100] se estableció que el factor denominado “Obtener Aceptación” (perteneciente inicialmente en la categoría Flexibilidad) se relacionaba con el factor Compromiso (Socio Humano) . Lo anterior generó la fusión de ambos propiciando que en total de 22 factores sean incorporados en el modelo.

La Fig. 28 resume los factores de productividad seleccionados para el modelo, organizados por las cuatro categorías: Significado, Flexibilidad, Impacto y Socio Humano.



Fig. 28. Factores de productividad de equipo seleccionados  
Fuente: Elaboración propia

**b) Forma de la medición**

Fenton y Bieman [3] describe al proceso de medición en IS como la etapa donde se describen entidades y atributos provenientes del mundo real y las cuales pueden seguir una representación simbólica o formal. Además, la medición permite que esa abstracción de la realidad sea más entendible y que se propongan alternativas para que aquellos elementos que parecen no ser medibles, pueden serlo [3].

El modelo de productividad de equipo en ASD al ser netamente conceptual se orientará por plasmar las entidades, propiedades y relaciones del mundo real a través de una representación simbólica. Por la anterior la presente investigación considera algunos elementos propuestos dentro del proceso de medición [3] para la definición del modelo.

En primer lugar, se considera la propiedad y la entidad a caracterizar. Las entidades y propiedades identificados se resumen en la Tabla XXXVII.

TABLA XXXVII.  
ENTIDADES Y PROPIEDADES IDENTIFICADOS EN EL MODELO

Entidad	Descripción Entidad	Propiedad	Descripción Atributo
Categoría	Describe las categorías en las que un factor puede pertenecer. Es una superclase.	nombre	Describe el nombre de la categoría
Significado	Entidad que hereda de la Superclase Categoría. Representa la categoría Significado.	NA	NA

<b>Entidad</b>	<b>Descripción Entidad</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Descripción Atributo</b>
Impacto	Entidad que hereda de la Superclase Categoría. Representa la categoría Impacto.	NA	NA
Flexibilidad	Entidad que hereda de la Superclase Categoría. Representa la categoría Flexibilidad.	NA	NA
Socio Humano	Entidad que hereda de la Superclase Categoría. Representa la categoría Socio Humano.	NA	NA
Factor	Describe el factor de productividad de equipo en ASD identificado. Este puede estar asociado a alguno de las cuatro categorías establecidas.	nombre	Describe el nombre del factor
		relevancia	Describe el nivel de importancia que tiene el factor.
Atributo	Entidad que representa las métricas o indicadores de evaluación.	código	Describe el código identificador de la métrica o indicador.
		nombre	Describe la métrica o indicador por el cual un factor puede ser evaluado.
		periodo	Describe al espacio de tiempo en el que se debe calcular la métrica.
Escala Valoración	Entidad que permite establecer un análisis sobre la medición a efectuar.	tipo	Describe el tipo de escala de valoración usada. Puede ser Nominal, Ordinal, Intervalo, Proporción o Absoluta [3].
Valor	Entidad que representa el conjunto de valores que puede tener una escala de valoración.	nombre	Describe el valor.
Procedimiento Medición	Describe el procedimiento de medición por el cual un atributo va a ser evaluado.	forma	Describe la forma en que un atributo puede ser medido.
		medida	Describe la medida seleccionada para evaluar un atributo.
Recurso	Entidad que representa el recurso que apoyará al proceso de medición.	nombre	Describe el nombre del recurso.
		tipo	Describe el tipo de recurso empleado.

Fuente: esta investigación

En segundo lugar, se continúa por establecer las relaciones empíricas entre las entidades y propiedades. Las relaciones pueden ser unarias destacando las propiedades de una sola entidad en particular; binarias comparando una entidad con otra de acuerdo con sus propiedades o ternarias donde se agrupan conjuntos de elementos para establecer un balance entre ellos [3].

Dentro del modelo de medición de productividad de equipo en ASD se pudieron identificar relaciones de asociación y generalización entre entidades y sus propiedades (Ver Fig. 29).

### c) Recursos de la medición

Dentro de esta última parte del modelo se contempla los elementos que pueden apoyar al proceso de medición. La entidad Recurso expuesta en el modelo conceptual representa las herramientas (computacionales o no) que dentro de un equipo ASD pueden ser claves para apoyar la medición de productividad de equipo.

La Fig. 29 resume el modelo conceptual el cual incluye las entidades, propiedades y relaciones, y el cual busca responder gráficamente los tres interrogantes considerados en esta sección. Para dicho propósito, se emplea la notación del diagrama de clases de UML.

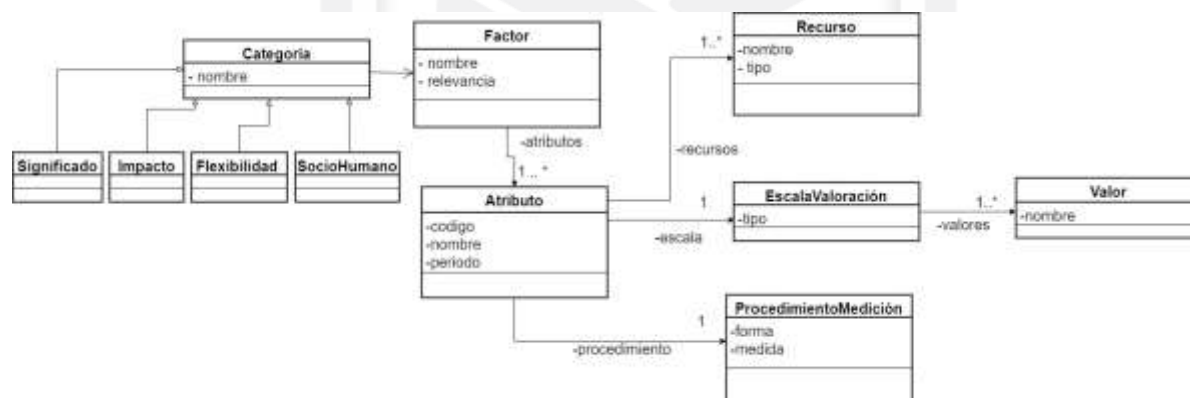


Fig. 29. Modelo conceptual propuesto  
Fuente: Elaboración propia

### 3) Síntesis

Considerando los resultados obtenidos en el SMS y las percepciones de los profesionales de la industria de software, la presente investigación consolida un modelo para la medición de productividad de equipo en ASD el cual se orienta bajo un enfoque conceptual.

Existen diversos mecanismos para la representación de los modelos conceptuales en IS, destacando que el diagrama de clases de UML es el más frecuentemente utilizado en la literatura.

Para diseñar el modelo de evaluación de productividad de equipo se consideraron tres aspectos fundamentales: el objetivo, la forma y los recursos de la medición.

Dentro del objetivo de la medición se consideraron los factores de productividad de equipo más relevantes por los integrantes de equipos ASD. Estos factores inicialmente se agrupaban en cuatro categorías: Significado, Impacto, Flexibilidad y Alto Desempeño. No obstante, fue necesario llevar a cabo una reclasificación porque algunos de ellos se asociaban a Factores Socio Humano. Lo anterior permitió incluir en el modelo 22 factores, los cuales se organizaron en las categorías: Significado, Flexibilidad, Impacto y Socio Humano.

En la forma de medición se logró plasmar los constructos teóricos identificados, en una representación simbólica conformada por las entidades, propiedades y relaciones a través de un diagrama de clases de UML.

Finalmente, en los recursos de la medición se incluyen las herramientas que pueden apoyar el proceso de medición en un equipo ASD.



# MAESTRÍA EN

---

## INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



### **C. PROCESO DE EVALUACIÓN DE PRODUCTIVIDAD EN EL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE**

En esta sección se pretende proponer un proceso de evaluación de productividad de equipo en ASD considerando los resultados obtenidos en las dos etapas previas de la investigación. Las actividades realizadas se pueden detallar en la Fig. 30.

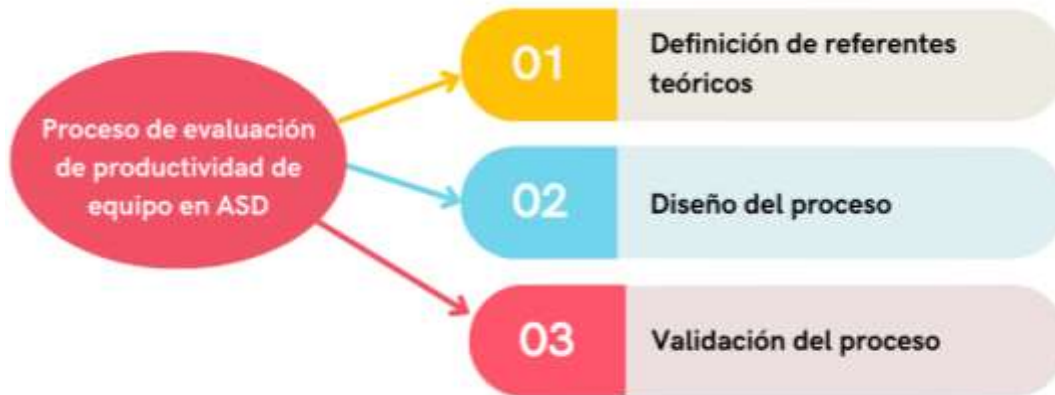


Fig. 30. Actividades desarrolladas en el tercer objetivo  
Fuente: Elaboración propia

#### **1) Definición de referentes teóricos**

##### **a) Proceso en IS**

En ingeniería de software se considera a un proceso como el conjunto de actividades que se deben desarrollar en un periodo de tiempo, que emplean recursos y generan productos de trabajo. Las actividades que se ejecutan en un proceso son realizadas por determinados roles y pueden descomponerse en tareas las cuales tienen un cierto grado de responsabilidad con el fin de obtener los resultados esperados [7].

Un proceso define el rol que está haciendo la acción, cuando y como lo hace [101].

##### **b) Procesos de negocio**

Un proceso de negocios permite representar los procesos operacionales que tiene una organización, los cuales a través del tiempo obtienen una mayor madurez y escalabilidad [102].

Un proceso de negocio contiene un flujo de actividades organizado de manera secuencial y sistemática que cumple un objetivo dentro de una organización y requieren de ciertos insumos para generar una salida [102] [103].

Las actividades que se ejecutan en dicho proceso deben crear valor para el cliente, para el logro de ello se cuenta con un conjunto de roles que contribuyen a alcanzar la meta [102].

Definir claramente los procesos en una organizaciones contribuyen a que esta sea ágil y pueda tomar decisiones frente a ellos en un determinado momento [103].

### c) *Modelado de procesos de negocio*

El modelado de procesos de negocio contribuye a representar las operaciones de una organización en marcha [102], entender su estructura y dinámica, comprender las posibles dificultades que presenta y proponer alternativas de mejora; por tal razón, los modelos que se generen de esta identificación deben ser coherentes y relacionados con sus propósitos [103].

Los modelos de proceso proporcionan “el marco de trabajo dentro del cual las métricas tienen significado” [102]. Asimismo contienen las indicaciones de como el trabajo se realiza en una organización, de quien lo efectúa, restricciones o consideraciones a tenerse en cuenta [102].

### d) *Modelado de procesos en BPMN*

La notación para la gestión de procesos de negocio (*Business Process Management Notation - BPMN*) es un estándar que permite representar procesos de negocio de alto nivel como de manera detallada. Su origen se remonta al año 2001 [102] como una alternativa para plasmar de manera simple las necesidades de los usuarios. Fue solo hasta 2008 cuando el Object Management Group – OMG adopta esta notación como un estándar para modelar procesos de negocio. Actualmente BPMN está en la versión 2.0 [104].

BPMN permite plasmar los procesos de la organización con base en sus objetivos centrales [102].

En la Tabla XXXVIII se pueden detallar los distintos niveles de modelado que BPMN considera [102].

TABLA XXXVIII.

NIVELES DE MODELADO DE BPMN

Niveles de modelado	Descripción
Mapas de Procesos	Diagrama de flujos de las actividades vistas desde un enfoque general.
Descripción de Procesos	Detallan información más precisa del proceso, roles, datos, información, etc.
Modelos de Proceso	Diagramas de flujo con mayor nivel de detalle que permite plasmar un proceso y posteriormente simularlo.

Fuente: esta investigación

BPMN permite que las empresas puedan plasmar y comunicar sus procedimientos de negocio de manera visual y estandarizada [102].

### **Categorías de procesos.**

Dentro de BPMN se puede detallar tres categorías relevantes para la definición de procesos.

#### **i. Orquestación.**

Representan una vista determinada del negocio u organización del Proceso [102][104].

Dentro de la orquestación se puede evidenciar [102][104]:

- Procesos privados (internos). Están asociados a una organización en específico.
- Procesos privados (externos). Pueden ser los procesos ejecutables y no ejecutables. Los primeros se refieren a aquellos que son ejecutados por la organización. Los segundos se enfatizan más en la documentación del comportamiento del proceso en sí.
- Procesos públicos muestra el flujo de mensajes entre actividades asociadas al proceso. Representa las interacciones entre un Proceso de Negocio privado y otra entidad participante.

ii. **Coreografía.**

Describe el comportamiento esperado de un proceso [102][104].

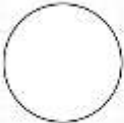

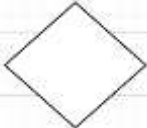




iii. **Colaboración.**

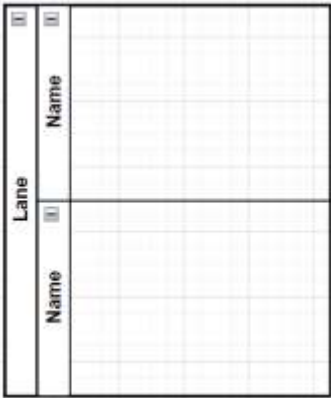


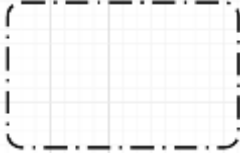

Puede incluir procesos de orquestación o coreografía. Representa las interacciones entre dos o más entidades del negocio [102][104].

**Representación gráfica**

BPMN emplea un conjunto de elementos gráficos para describir los procesos. Estos se pueden clasificar en cinco grupos: Objetos de flujo, Datos, Conexión de objetos, Calles, y Artefactos los cuales se pueden detallar en la Tabla XXXIX.

TABLA XXXIX.  
ELEMENTOS GRÁFICOS DE BPMN

Elemento	Representación grafica	Descripción
Evento		Representa lo que está ocurriendo durante un proceso o una coreografía. Existen tres tipos de eventos basados en el flujo: Inicio, Intermedio y Fin.
Actividad		Representa el trabajo que efectúa una organización en un proceso. Pueden descomponerse en subprocesos o tareas.
Puerta		Modifica el flujo secuencial de las operaciones el cual puede generar una ramificación, bifurcación, fusión o unión de caminos.
Flujo de secuencia		Se utiliza para mostrar la secuencialidad de las actividades de un proceso.
Flujo de mensajes		Representa el flujo de mensajes entre dos participantes del proceso.
Asociación.		Permite vincular información y artefactos con otros elementos. La asociación en forma de flecha indica la dirección del flujo.
Pool		Contenedor donde un participante ejecuta un conjunto de actividades.

Elemento	Representación grafica	Descripción
Carril		Subpartición dentro de un Proceso donde las actividades se organizan y categorizan.
Objetos de datos		Representan los insumos o productos de trabajo que requieren las actividades.
Mensaje		Representa la información de comunicación que existe entre dos participantes
Grupo		Representa un conjunto de elementos gráficos que están dentro de la misma Categoría.
Anotaciones		Proporciona información adicional para el lector del diagrama.

Fuente: Adaptación del estándar BPMN expuesta en [104]

### e) *Scrum*

Scrum es un método de desarrollo ágil de software que tuvo surgimiento desde la década de los 90' por Ken Schwaber y Jeff Sutherland [13].

Scrum nace por la necesidad de que los proyectos se ejecutaban de forma lenta, tenían sobrecostos y demoras en las entregas o no satisfacían las necesidades de sus clientes [105]. Scrum fue pensando en cambiar el proceso tradicional que en ese entonces se empleaba por uno alineado a entregas incrementales e iterativas, con un enfoque adaptativo y autodirigido, y en generar valor de forma rápida [105] [14] .

Scrum está pensado para ejecutarse en cualquier tipo de proyecto de gran complejidad, siendo uno de estos el desarrollo de software [14].

Scrum combina tres pilares fundamentales: Transparencia, es decir el trabajo que se realiza en un equipo Scrum es visible por todos los miembros del equipo; Inspección, lo que implica revisar continuamente el progreso del equipo y detectar los posibles errores que puedan surgir; y finalmente Adaptación, lo cual determina que el equipo debe estar preparado para los cambios y adaptarse a ellos [13].

El 16th reporte State of Agility 2022, como un informe que año tras año recopila información sobre prácticas y técnicas de la agilidad, destaca que Scrum con un 87% es el marco de trabajo ágil más empleado por las organizaciones y en la cual los profesionales se sienten mayormente familiarizados [106] evidenciando una evolución desde el 2020 hasta la actualidad (Ver Fig. 31)

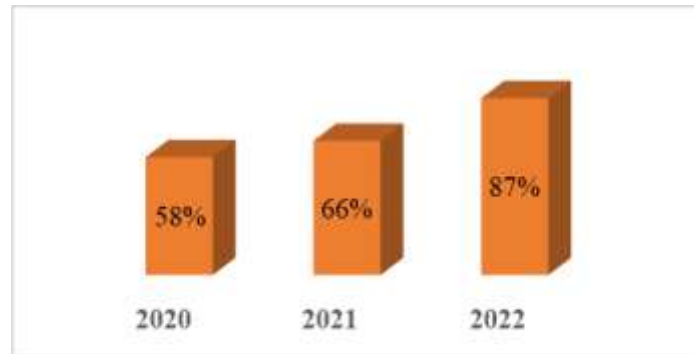


Fig. 31. Evolución del uso de Scrum en las organizaciones.  
Fuente: una adaptación de la propuesta de Digital.ai [106].

### Roles de Scrum

Dentro de Scrum se manejan un conjunto de roles que intervienen dentro del proceso del marco de trabajo. Estos roles se pueden clasificar en Centrales que son aquellos que intervienen directamente en la construcción del producto, están comprometidos y son responsables de que la ejecución del proyecto. De igual manera, se encuentran los No Centrales que son aquellos que no tienen una relación formal en el proyecto, pero pueden interactuar con el equipo por algún tipo de interés [14].

En los roles Centrales se encuentra el *Scrum Team* el cual está conformado por un *Product Owner*, un *Scrum Master* y los *Developers*. El equipo Scrum se caracteriza por crear valor en cada *Sprint* y por trabajar cohesionadamente para alcanzar el objetivo propuesto.

El tamaño estimado de un equipo Scrum es de máximo 10 personas, sin embargo, existen estudios donde se expone que el número ideal de integrantes oscila entre los 7 y 9 personas [107]. Cabe mencionar que entre menor sea el tamaño del equipo la comunicación es más fluida y los niveles de productividad son mucho mayores [13].

Según [13] [14] los roles centrales en Scrum son:

- **Product Owner.** Persona que estructura los requisitos del cliente, los organiza en una pila (Product Backlog) de acuerdo con su nivel de importancia y los comunica al resto del equipo [13] [14]. Se encarga de lograr el máximo valor del negocio y de verificar que el producto cumpla las expectativas planificadas [14].
- **Scrum Master.** Es el responsable de que los integrantes del equipo entiendan las prácticas y eventos de Scrum, de propiciar un ambiente agradable y eliminar posibles impedimentos que puedan surgir en el camino. Funciona como un líder servicial y un facilitador [13] [14].
- **Developers.** Son las personas que se encargan de comprender los requisitos recopilados por el *Product Owner* y convertirlos en incrementos funcionales de valor [13] [14].

En los roles no centrales se tienen a los *stakeholders*, vendedores y Scrum Guidance Body [14].

- **Stakeholders.** Incluye a los clientes, usuarios y patrocinadores. Estas personas proporcionan los requerimientos del producto a realizar [14].
- **Supporting Services.** Hace referencia a grupos internos o externos que pueden tener una relación con alguno de los procesos Scrum.
- **Vendors.** Son individuos o entidades externas que ofrecen bienes y/o servicios que no hacen parte del propósito de la organización del proyecto [14].
- **Scrum Guidance Body.** Es un grupo de documentos y/o expertos que definen las reglamentaciones del proyecto, objetivos de calidad, seguridad, entre otros [14].

### Artefactos de Scrum

Los artefactos de Scrum son elementos de vital importancia que permiten representar el trabajo que realiza el equipo. Cada artefacto asume un compromiso el cual contribuye a la medición del progreso de las metas [13].

- **Product Backlog.** Es una lista ordenada de las necesidades que expone el cliente. Esta lista es dinámica y se va refinando a lo largo del proyecto. La lista se organiza por la priorización basada en valor, es decir los requisitos que son más relevantes para el usuario final encabezan la lista y de acuerdo con este criterio los demás se ordenan de forma descendente [13] [14].
- **Sprint Backlog.** Está conformada por el conjunto de necesidades priorizadas por el equipo Scrum para un periodo de tiempo (*Sprint*) las cuales son seleccionadas considerando el Product Backlog [13] [14].
- **Increment.** Es un paso hacia el objetivo del producto planificado, permite recopilar información rápidamente y genera valor [13].

### Eventos de Scrum

Los eventos contribuyen a inspeccionar continuamente los artefactos que propone Scrum, además de brindar una retroalimentación constante al proceso basado en la transparencia y adaptación [13].

- **Sprint.** Es un periodo de tiempo en el que el equipo puede realizar cierta cantidad de trabajo. El sprint es de longitud fija y puede tener una duración entre 2 y 4 semanas [13].
- **Sprint Planning Meeting.** Se realiza al iniciar el *Sprint*, la cual permite identificar lo que el equipo Scrum va a realizar en ese periodo de tiempo. La reunión busca resolver tres aspectos importantes: identificar el valor del producto para los stakeholders, seleccionar los elementos del Backlog que se van a trabajar en ese *Sprint* y finalmente como se desarrollará el trabajo elegido [13].
- **Daily Meeting.** Es espacio de aproximadamente 15 minutos la cual se realiza diariamente y permite identificar el avance de cada integrante del equipo, que impedimentos ha tenido y que espera realizar hasta el siguiente encuentro [13].
- **Sprint Review.** Es un encuentro que tiene como finalidad revisar los resultados obtenidos al finalizar el *Sprint*. Estos avances deben ser acordes con las necesidades expuestas por el

Product Owner ya que se presentan a las partes interesadas con el fin de recibir retroalimentación [13].

- ***Sprint Retrospective.*** Es una reunión que permite realizar un análisis de los aspectos positivos y negativos identificados en el *Sprint* con el ánimo de mejorar. Este tipo de encuentros permiten enriquecer al equipo y funciona como un elemento de inspección y adaptación [13] [14].

## 2) *Diseño del proceso*

La gestión de proyectos ágiles es un desafío [108] en la industria de software. Evaluar el desempeño de los equipos contribuye a que la organización efectúe la gestión del personal que labora en ella, y es a través de métodos y procesos que esta puede verificar el progreso de sus colaboradores [109] [110].

Es por lo que, a través de un proceso de IS se pretende establecer metódicamente la aplicación práctica del modelo de evaluación de productividad de equipo en ASD descrito en la sección preliminar y el cual se rige por los principios y valores expuestos en el Manifiesto Ágil. Lo anterior contribuye como un referente para que equipos ASD puedan medir productividad.

A continuación, se presentan los elementos y etapas del proceso.

### a) *Elementos del Proceso*

Para el diseño del proceso es importante considerar cada uno de los elementos que lo conforman y poder establecer la relación con el objetivo de esta investigación. Estos se describen a continuación.

- **Evento.** Es un suceso que permite revisar el progreso del equipo y adaptarse a los cambios. En Scrum los eventos permiten que el trabajo sea visible para aquellos que lo realizan como para los que lo reciben [13].
- **Métrica.** Indica la forma de recopilar y analizar datos con el fin de producir información objetiva sobre una variable que se desea conocer y que esto contribuya a aprender sobre un equipo [17].
- **Actividad.** Involucra uno o varios tipos de elementos de trabajo y cómo realizarlos [111]. Una actividad consume ciertos recursos, genera algún producto de trabajo y es ejecutada por un rol. Para el proceso de medición de productividad de equipo en ASD se considerarán actividades las cuales se abordan dentro de cada uno de los eventos que propone Scrum.
- **Elementos de entrada.** Insumos que son requeridos para iniciar una actividad.
- **Productos de trabajo.** Se refiere a las salidas generadas tras la ejecución de una actividad. Tanto los elementos de entrada como productos de trabajo son considerados los recursos que el equipo de desarrollo ágil de software requiere para efectuar el proceso de medición.
- **Roles.** Individuo o grupo de individuos que ejecutan una actividad o una responsabilidad en un determinado proceso. Los roles definidos para este proceso se orientan bajo marco de trabajo Scrum y son: Product Owner, Scrum Master y Developers [13] [14]. Además, se tiene en cuenta a los Stakeholders como un rol adicional.

### b) *Etapas del proceso de medición*

Para consolidar formalmente el proceso y que este pueda ser transferible, adaptable y adoptable dentro de los equipos ASD, debe dar respuesta a los interrogantes propuestos en la definición del modelo: ¿Qué medir?, ¿Cómo medir?, y ¿Qué se requiere para apoyar la medición?, distribuidos en tres momentos principales.

Las etapas del proceso de medición se muestran en la Fig. 32.

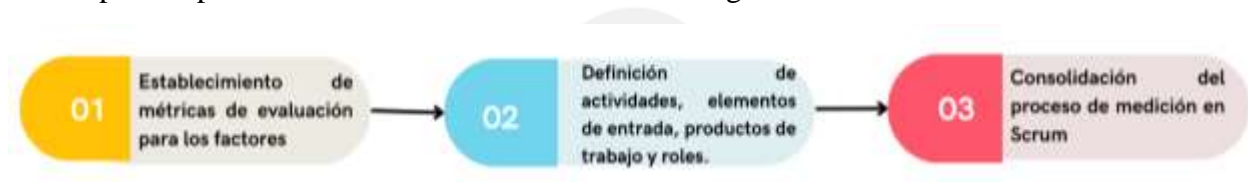


Fig. 32. Etapas del proceso de medición  
Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se establecen las métricas para la evaluación de cada uno de los 22 factores de productividad identificados en la investigación. Debido a que, las métricas son necesarias en las organizaciones ágiles [108], estas deben alinearse con la filosofía ágil, es decir, entregar valor de manera frecuente, flexibilidad, comunicación permanente con el cliente, entre otras [108],[112]. Definir métricas no es una tarea común puesto que, pueden clasificarse en varios tipos dependiendo del punto de vista que se tenga [3].

En segundo lugar, se definen las actividades, recursos y roles que permiten la ejecución de dichas métricas. Cabe resaltar que, las actividades de medición deben ser pertinentes a las necesidades que se planifican en la organización y debe consumir poco tiempo y esfuerzo para que el equipo ASD pueda implementarlas [108].

En tercer lugar, las métricas, actividades, recursos y roles definidos serán organizados para ser aplicables en los eventos de Scrum, y que estos puedan ser replicables para los equipos.

#### **Establecimiento de métricas de productividad de equipo en ASD**

Para la identificación de las métricas de productividad se tuvo en cuenta dos consideraciones. Para el caso de los factores asociados a las categorías Significado, Impacto y Flexibilidad se llevó a cabo un mapeo sistemático de literatura en bases de datos bibliográficas como IEEE Xplore y Scopus.

Para los factores asociados a la categoría Socio Humano se consideraron los productos de investigación generados por la tesis Doctoral titulada: “Modelo basado en la gamificación y en factores sociales y humanos para influir en la productividad de equipos de desarrollo de software” de Liliana Esther Machuca Villegas [98],[99],[100], [113], [114].

##### **i. Categoría Significado**

La definición y métricas de evaluación identificadas para los factores asociados a la categoría Significado se visualizan en la Tabla XL.



TABLA XL.

MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA SIGNIFICADO

Factor	Definición	Métricas de evaluación
Velocidad	Cantidad de trabajo que un equipo logra completar al final de una iteración [8],[115].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sumatoria de la cantidad de puntos historia completados en una iteración [8], [115], [116], [117].</li> <li>- Sumatoria de las historias de usuario completadas en una iteración [8], [115], [116], [117].</li> </ul>
Capacidad de trabajo	Medida de la potencia máxima del equipo [116], es decir, es la relación que existe entre el trabajo desarrollado durante una iteración y el trabajo planeado [8].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Porcentaje de trabajo planeado para una iteración que fue realizado [116].</li> <li>- Porcentaje de puntos historia planeados para una iteración que fueron realizados [8].</li> </ul>
Satisfacción del cliente	Factor blando [118] asociado al sentimiento de felicidad que se provoca en el cliente cuando un equipo cumple con sus expectativas [119],[120] a través del valor que genera [120] y se mide manera continua [121], [122].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incremento en la calidad del software [119], [122], [123].</li> <li>- Entrega temprana [119].</li> <li>- Porcentaje de historias de usuario planeadas (estado To Do) que se encuentran hechas (estado Done) [121].</li> </ul>
Comprensión de los roles de trabajo	Factor referente a la asignación de roles [124] y responsabilidades [125], [126], [127] de acuerdo con las habilidades complementarias que posee cada integrante [128] para analizar su contribución en el equipo [126], con el fin de propiciar multifuncionalidad [125], [129].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asignación de roles en función de sus capacidades [128].</li> <li>- Medida del Tiempo de Función (RTM). Mide la relación desarrollo/desempeño de funciones; es decir, el tiempo invertido en tareas de desarrollo en relación con el tiempo invertido en actividades de rol [124].</li> <li>- Medida de la Comunicación del Rol (RCM). Mide el nivel de comunicación en el equipo en cada fase de desarrollo. Esta medida evoluciona ya que cada titular de un rol necesita comunicarse con los demás miembros del equipo para poder desempeñar su función con mayor eficacia [124].</li> </ul>
Capacidad del equipo	Suma sinérgica de las capacidades individuales de los integrantes del equipo para desarrollar el trabajo que se planea [128], [130].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cantidad de trabajo que puede hacer el equipo en un sprint [128].</li> <li>- Tiempo requerido para dar respuesta (historia de usuario en estado Done) a una necesidad del cliente (historia de usuario en estado To Do) [131].</li> </ul>

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes citadas en la tabla.

**ii. Categoría Impacto**

La definición y métricas de evaluación identificadas para los factores asociados a la categoría Impacto se visualizan en la tabla XLI.

TABLA XLI.

MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA IMPACTO

Factor	Definición	Métricas de evaluación
<b>Calidad</b>	La calidad del trabajo en equipo (por sus siglas en inglés TWQ) es una medida que permite evaluar el nivel de cumplimiento del trabajo a través de la comunicación abierta diaria [132], [133], [134], [135], los compromisos, la capacidad para finalizar tareas y evaluación de resultados [133], [136], [137].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de cumplimiento del trabajo [132], [133], [134] (Tablero de estado de las tareas del sprint (verde/amarillo/rojo) [129]).</li> <li>- Errores por sprint [129].</li> <li>- Problemas reportados por el cliente [129].</li> <li>- Conteo de impedimentos por <i>sprint</i> [129].</li> </ul>
<b>Manejo de los requisitos</b>	Trazabilidad que se realiza a los requerimientos, es decir, los cambios o variaciones que pueden tener las necesidades desde su identificación (To Do) hasta llegar a un estado finalizado (Done); a través de la participación continua [138] de los interesados [9],[139],[140],[141] durante las iteraciones. Las necesidades pueden ser expresadas como requerimientos funcionales [142],[143] o no funcionales [139],[140].	<p>La literatura está orientada a establecer indicadores relacionados con la gestión de requisitos principalmente procesos orientados a medir su calidad o a estimar tiempo, costo y esfuerzo. No obstante, existe información reducida sobre el grado o nivel de variación de las necesidades durante una iteración.</p> <p>Por esta razón se propone:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Variación porcentual de los cambios realizados en una iteración pasada y una presente.</li> </ul>
<b>Establecimiento de metas</b>	De acuerdo con el enfoque orientado por objetivos en el agilismo [144], es la forma de medir el grado o nivel de cumplimiento de el/los objetivo(s) [28] planificado(s) para una iteración [145].	En la literatura no se encuentran métricas para medir el establecimiento de metas, sin embargo, de acuerdo con [144],[28],[145], se propone establecer indicadores que estén de acuerdo con el/los objetivo(s) propuesto(s).

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes citadas en la tabla.

**iii. Categoría Flexibilidad**

La definición y métricas de evaluación identificadas para los factores asociados a la categoría Flexibilidad se visualizan en la Tabla XLII.

TABLA XLII.

MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA FLEXIBILIDAD

Factor	Definición	Métricas de evaluación
Aprendiendo de los fracasos	Capacidad de un equipo para aprender de los errores y/o problemas presentados en una iteración a través de espacios de retroalimentación y comunicación permanente [146].	Grado de aprendizaje de un equipo de desarrollo de software frente a las dificultades (falta de comunicación, falta de pensamiento de calidad, falta de habilidades, percepciones erróneas y retención de información) presentadas en una iteración [146].
Aprendizaje organizacional	Capacidad para crear, organizar y procesar información, con el fin de generar nuevo conocimiento de manera individual y de equipo, propiciando una cultura para desarrollar nuevas capacidades y el	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cultura del aprendizaje organizacional [148].</li> <li>- Formación [148].</li> <li>- Claridad estratégica [148].</li> <li>- Soporte organizacional [148].</li> </ul>

<b>Factor</b>	<b>Definición</b>	<b>Métricas de evaluación</b>
	aprendizaje de sus procesos de mejora continua [147].	
Mejorando el proceso	Capacidad del equipo para de manera autónoma gestionar un plan de mejora continua [129], [149] a través de espacios de retroalimentación permanentes [129],[146] con el fin de incrementar su rendimiento [146].	- Nivel de madurez del proceso que desarrollan los integrantes de un equipo [129],[149],[146].

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes citadas en la tabla.

#### **iv. Categoría Factores Socio Humanos**

La definición y métricas de evaluación identificadas para los factores asociados a la categoría Socio Humanos se visualizan en la Tabla XLIII.

TABLA XLIII.

#### MÉTRICAS PARA LA EVALUACIÓN DE FACTORES EN LA CATEGORÍA SOCIO HUMANOS.

<b>Factor</b>	<b>Definición</b>	<b>Métricas de evaluación</b>
Comunicación	Capacidad que tiene un integrante de un equipo para relacionarse o vincularse con otro [98],[100], a través de diferentes métodos como: verbales, escritos, gestuales; facilitando el flujo de información [99],[100],[113], para el desarrollo de las tareas asignadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de interacción entre los miembros del equipo para proveer el flujo de información de manera clara [100],[113].</li> <li>- Nivel de especificidad de las actividades e instrucciones para todos los miembros del equipo [100],[113].</li> <li>- Nivel de conocimiento que poseen los integrantes del equipo sobre el progreso de los objetivos [113].</li> </ul>
Compromiso	Grado de responsabilidad que un individuo está dispuesto a asumir en sus tareas dentro de su equipo de trabajo [98], [100].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de responsabilidad que tiene un individuo para asumir tareas dentro de su equipo [100] alineado a los objetivos propuestos [114].</li> <li>- Capacidad de un individuo para ser consecuente con sus acciones y asumir sus errores [100].</li> <li>- Grado de un individuo para ser consecuente de sus actos [100].</li> <li>- Nivel de disposición que tiene el equipo para realizar cualquier tarea requerida [113].</li> </ul>
Liderazgo de equipo	Capacidad para tomar decisiones, la seguridad, determinación e influencia que tiene un individuo sobre el equipo para encaminarlo a realizar sus tareas, alcanzar los objetivos propuestos, coordinar las funciones encomendadas y promover actitudes positivas en cada uno de los integrantes [98], [100], [113].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de influencia que tiene un individuo para encaminar al equipo de trabajo a alcanzar sus objetivos.</li> <li>- Capacidad que tiene un individuo para tomar decisiones.</li> <li>- Grado de coordinación de las funciones de los miembros del equipo.</li> <li>- Capacidad para promover actitudes positivas y generar confianza entre los miembros del equipo.</li> </ul>

<b>Factor</b>	<b>Definición</b>	<b>Métricas de evaluación</b>
Motivación Intrínseca	Factor que estimula a un integrante de un equipo a realizar una tarea porque es importante, emocionante y valiosa para él [114], generando un efecto de satisfacción duradero, y un incremento en su productividad [98], [100].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sentimiento de valor en la realización de tareas [100],[113], [114].</li> <li>- Percepción de agrado por las tareas realizadas [100], [113].</li> <li>- Percepción de interés por las tareas asignadas [100] ,[113].</li> <li>- Grado de reconocimiento por las tareas realizadas [100] ,[113].</li> <li>- Percepción de contribución de las tareas realizadas al logro de objetivos [113].</li> </ul>
Habilidades Sociales	Capacidad de los integrantes para interactuar con empatía y trabajar de manera interdependiente dentro de las dinámicas de socialización del equipo [98], [100].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disposición de apertura hacia el otro [100]</li> <li>- Capacidad de mantener el respeto por el otro [98], [100], [113].</li> <li>- Nivel de consenso en las reglas del equipo [98], [100],[113].</li> <li>- Capacidad que tiene un integrante del equipo para interactuar con sus compañeros [98], [100],[113].</li> </ul>
Sentimiento de Orgullo	Efecto causado en el equipo como resultado de desarrollar un trabajo de calidad [100].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de satisfacción que tienen los integrantes del equipo como resultado de desarrollar un trabajo de calidad [100].</li> <li>- Nivel de satisfacción que tienen los integrantes como resultado de los incentivos brindados en el equipo [100].</li> </ul>
Configuración del equipo	Capacidad de integración que tienen los individuos para conformar un equipo y trabajar por un objetivo común [98], [100], [113].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nivel de integración entre los miembros del equipo [100].</li> <li>- Nivel de cohesión del equipo [100].</li> <li>- Percepción de los integrantes por sentirse parte del equipo [100],[113].</li> <li>- Percepción de los integrantes por desarrollar tareas acordes con sus habilidades [100],[113].</li> </ul>
Confianza	Sentimiento de apoyo y respaldo que existe entre los integrantes de un equipo [100],[114], consolidando una relación de cordialidad o amistad que contribuyen a crear un ambiente laboral agradable y al cumplimiento de los objetivos propuestos [100] [113].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percepción que tienen los integrantes sobre el desarrollo de trabajo colaborativo en el equipo [113].</li> <li>- Nivel de seguridad que tienen los integrantes de un equipo para compartir sus conocimientos, información y experiencia con sus compañeros [113].</li> <li>- Percepción de apoyo entre los integrantes de un equipo [114].</li> </ul>
Atmósfera	Satisfacción de los integrantes de un equipo en relación con su ambiente laboral [100].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percepción de los integrantes sobre el crecimiento personal que se desarrolla en el ambiente laboral del equipo [100].</li> <li>- Percepción de los integrantes sobre el crecimiento profesional que se desarrolla en el ambiente laboral del equipo [100].</li> </ul>
Satisfacción del equipo	Grado de variación entre lo que los integrantes del equipo esperan del trabajo y lo que realmente obtienen [100] [113].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percepción de un integrante sobre la distribución equitativa de las actividades [100] [113] [114].</li> </ul>

<b>Factor</b>	<b>Definición</b>	<b>Métricas de evaluación</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grado de contribución que tienen las actividades realizadas por los miembros del equipo en su crecimiento personal [113].</li> <li>- Grado de contribución que tienen las actividades realizadas por los miembros del equipo en su crecimiento profesional [113].</li> <li>- Percepción de los integrantes sobre los incentivos brindados en el equipo [100].</li> </ul>
Poder de decisión	Nivel de autonomía e independencia que posee un equipo para tomar decisiones [98],[100].	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad que tiene un integrante para seleccionar y realizar una acción (en que trabajar, qué proyectos investigar, qué ideas desarrollar, cómo solucionar problemas) sin la interferencia de agentes externos al equipo [100].</li> <li>- Capacidad del equipo para autogestionarse [113].</li> <li>- Capacidad que tiene el equipo para tomar decisiones sobre el proyecto y la forma en que trabajan [113].</li> <li>- Capacidad que tiene el equipo para tomar decisiones sobre los métodos, técnicas y estrategias para realizar las tareas [113].</li> <li>- Capacidad que tiene un integrante del equipo para poder tomar medidas correctivas por iniciativa propia [113].</li> </ul>

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes citadas en la tabla.

### **Definición de actividades, elementos de entrada, productos de trabajo y roles**

La Tabla XLIV muestra un resumen de las actividades del proceso de evaluación de productividad considerando los elementos de entrada, productos de trabajo generados y rol que ejecuta la acción.

TABLA XLIV.

#### ACTIVIDADES, ELEMENTOS DE ENTRADA, PRODUCTOS DE TRABAJO Y ROLES DEL PROCESO DE MEDICIÓN.

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Elemento de entrada</b>	<b>Producto de trabajo</b>	<b>Rol</b>
Planeación	Presentar los factores para medir productividad.	Taxonomía de los factores de productividad	Taxonomía de los factores de productividad	Líder del equipo
	Seleccionar los factores para medir productividad.	Taxonomía de los factores de productividad	Listado de factores para medir la productividad del equipo.	Equipo de trabajo
	Identificar la(s) métrica(s) o indicadores de evaluación por cada factor seleccionado.	Listado de factores para medir la productividad del equipo.	Listado de métricas identificadas por cada factor seleccionado.	Líder del equipo

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Elemento de entrada</b>	<b>Producto de trabajo</b>	<b>Rol</b>
	Establecer la forma y medida en que puede ser evaluada una métrica.	Listado de métricas identificadas por cada factor seleccionado.	Especificación del procedimiento de medición y medida de cada métrica.	Líder del equipo
	Determinar el tipo de escala de valoración a emplear y el conjunto de valores que la componen por cada métrica.	Especificación del procedimiento de medición y medida de cada métrica.	Especificación del procedimiento de medición y medida de cada métrica con la escala de valoración y dominio de cada métrica.	Líder del equipo
	Identificar los recursos o herramientas que apoyarán el proceso de medición de los factores	Especificación del procedimiento de medición y medida de cada métrica con la escala de valoración y dominio de cada métrica.	Especificación del procedimiento de medición y medida de cada métrica con los recursos o herramientas de apoyo al proceso de medición.	Líder del equipo
	Establecer los periodos de tiempo en el equipo va a ser sometido al proceso de medición.	Especificación del procedimiento de medición y medida de cada métrica con los recursos o herramientas de apoyo al proceso de medición.	Especificación completa del proceso de medición.	Líder del equipo
Ejecución	Coordinar registro de datos para la medición	Especificación completa del proceso de medición.	Especificación de las métricas seleccionadas para el proceso de medición	Líder del equipo
	Seleccionar métrica	Especificación de las métricas seleccionadas para el proceso de medición	Especificación de la métrica seleccionada para el proceso de medición	Equipo de trabajo
	Registrar los datos necesarios para medición de la métrica.	Especificación de la métrica seleccionada para el proceso de medición	Especificación de la métrica diligenciada para el proceso de medición.	Equipo de trabajo
	Calcular el valor de la métrica a partir de los datos recopilados.	Especificación de la métrica diligenciada para el proceso de medición.	Especificación con el cálculo de valores de la métrica en un intervalo de tiempo.	Líder del equipo
Evaluación	Elaborar una representación gráfica del comportamiento de los resultados de la métrica.	Especificación con el cálculo de valores de la métrica en un intervalo de tiempo.	Representación gráfica del comportamiento de la métrica.	Líder del equipo
	Interpretar los resultados de la representación gráfica del comportamiento de la métrica.	Representación gráfica del comportamiento de la métrica.	Informe de resultados del comportamiento de la métrica.	Líder del equipo

Fase	Actividad	Elemento de entrada	Producto de trabajo	Rol
	Establecer acciones de regulación y mejora.	Informe de resultados del comportamiento de la métrica.	Listado de acciones de mejora	Equipo de trabajo
	Sintetizar acciones de regulación y mejora	Listado de acciones de mejora	Informe de recomendaciones para la regulación y mejora de la productividad del equipo.	Líder del equipo
	Especificar Plan de acción	Informe de recomendaciones para la regulación y mejora de la productividad del equipo.	Plan de Acción	Líder del equipo

Fuente: elaboración propia.

### i. Formato para la planificación de la medición

Para la fase de planificación de la medición se hace necesario elaborar un artefacto que permita realizar la especificación. En la Tabla XLV se puede observar el formato propuesto.

TABLA XLV.

#### FORMATO PARA ESPECIFICAR LA MEDICIÓN

Categoría							
Factor							
Atributo (Métrica)	Medida	Forma	Tipo de Escala de medición	Escala de medición	Tipo de Recurso	Recurso	Periodo

\* Se debe seleccionar una métrica de las identificadas y valoradas según el nivel de relevancia.

Fuente: elaboración propia.

La **categoría** corresponde a una de las cuatro categorías de clasificación a la que puede pertenecer un factor de productividad (Significado, Impacto, Flexibilidad, Socio Humano). El **factor** se asocia a uno de los 22 factores de productividad de equipo en ASD. El **atributo** representa las métricas o indicadores de evaluación de acuerdo con el factor de productividad. La **medida** es el valor o símbolo que se le asigna al atributo. La **forma** es la fórmula usada para que un atributo pueda ser medido. El **tipo de escala de medición** es el esquema de valoración subjetiva seleccionada para clasificar la medida, según la propuesta [3],[17] estas pueden ser Escala Likert, Clasificación forzada, Escala de Frecuencia verbal, Escala ordinal, Escala comparativa, Escala numérica, etc. La **escala de medición** representa al conjunto de valores que hacen parte de la escala de valoración subjetiva de acuerdo con el tipo seleccionado. En una escala Likert, por ejemplo, los valores podrían ser: Muy alto, Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo [3],[17].

El *tipo de recurso* es el usado para el proceso de medición (Físico, Herramienta Computacional, Humano, etc.). El *recurso* se refiere al recurso que apoyará al proceso de medición. El *periodo*, el cual hace referencia al espacio de tiempo en el que se debe calcular la métrica.

**ii. Formato para la ejecución de la medición**

Para la fase de ejecución de la medición se hace necesario elaborar un artefacto que permita realizar la especificación. En la Tabla XLVI se puede observar el formato propuesto.

TABLA XLVI.  
FORMATO PARA LA EJECUCIÓN DE LA MEDICIÓN

Categoría				
Factor				
Atributo				
Forma				
Periodo	Variables			
	Variable 1	Variable 2	...	Variable m
Valor periodo 1				
Valor periodo 2				
...				
Valor periodo n				

Fuente: elaboración propia.

La *categoría* corresponde a una de las cuatro categorías de clasificación a la que puede pertenecer un factor de productividad (Significado, Impacto, Flexibilidad, Socio Humano). El *factor* se asocia a uno de los 22 factores de productividad de equipo en ASD. El *atributo* representa las métricas o indicadores de evaluación de acuerdo con el factor de productividad. La *forma* es la fórmula usada para que un atributo pueda ser medido. Las *variables* hacen referencia a los valores que se capturan para obtener la medición. Finalmente, el *periodo* hace referencia al espacio de tiempo en el que se debe calcular la métrica.

**iii. Formato para la evaluación de la medición**

Para la fase de evaluación de la medición se hace necesario elaborar un artefacto que permita realizar la especificación. En la Tabla XLVII se puede observar el formato propuesto.

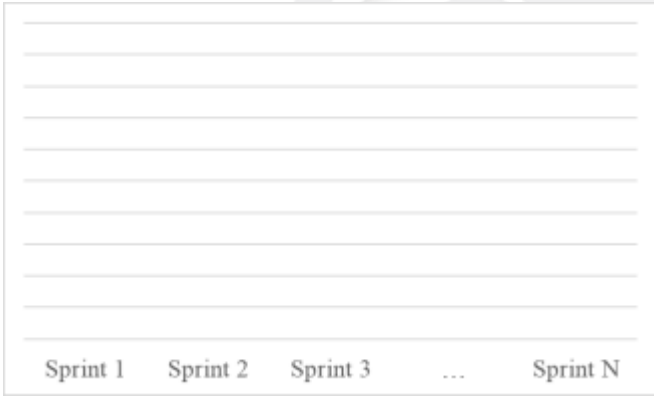
El formato para la evaluación de la medición incluye la *categoría* del factor, el *factor*, el *atributo* a evaluar, la *representación gráfica* del comportamiento de los resultados de dicha métrica junto con un *informe* que contenga la fecha de elaboración y observaciones más relevantes.

Finalmente, durante la fase de evaluación también es de vital importancia que se genere un informe de recomendaciones con el fin de que establezcan acciones de regulación y mejora para futuras iteraciones (Ver Tabla XLVIII).



TABLA XLVII.

FORMATO PARA LA EVALUACIÓN DE LA MEDICIÓN

Categoría	
Factor	
Atributo	
Forma	
Representación gráfica de la medición	Informe de resultados del comportamiento de la métrica
	Fecha
	Observaciones

Fuente: elaboración propia.

TABLA XLVIII.

FORMATO DE INFORME DE RECOMENDACIONES

	Informe de recomendaciones
Fecha	
ID	Recomendaciones

Fuente: elaboración propia.

**Consolidación del proceso de medición en Scrum**

La Tabla XLIX muestra las fases y actividades del proceso de evaluación de productividad de equipo considerando los eventos de Scrum en que deberían llevarse a cabo y el rol que las ejecutarías.

TABLA XLIX.

ACTIVIDADES DEL PROCESO DE MEDICIÓN VINCULADAS A SCRUM

Fase	Actividad	Evento de Scrum	Rol de Scrum
Planeación	Presentar los factores para medir productividad.	Sprint Planning Meeting.	Scrum Master

<b>Fase</b>	<b>Actividad</b>	<b>Evento de Scrum</b>	<b>Rol de Scrum</b>
	Seleccionar los factores para medir productividad.	Sprint Planning Meeting.	Equipo Scrum
	Identificar la(s) métrica(s) o indicadores de evaluación por cada factor seleccionado.	Sprint Planning Meeting.	Scrum Master
	Establecer la forma y medida en que puede ser evaluada una métrica.	Sprint Planning Meeting.	Scrum Master
	Determinar el tipo de escala de valoración a emplear y el conjunto de valores que la componen por cada métrica.	Sprint Planning Meeting.	Scrum Master
	Identificar los recursos o herramientas que apoyarán el proceso de medición de los factores	Sprint Planning Meeting.	Scrum Master
	Establecer los periodos de tiempo en el equipo va a ser sometido al proceso de medición.	Sprint Planning Meeting.	Scrum Master
Ejecución	Coordinar registro de datos para la medición	Sprint	Scrum Master
	Seleccionar métrica	Sprint	Equipo Scrum
	Registrar los datos necesarios para medición de la métrica.	Sprint	Equipo Scrum
	Calcular el valor de la métrica a partir de los datos recopilados.	Sprint	Scrum Master
Evaluación	Elaborar una representación gráfica del comportamiento de los resultados de la métrica.	Sprint Retrospective	Scrum Master
	Interpretar los resultados de la representación gráfica del comportamiento de la métrica.	Sprint Retrospective	Scrum Master
	Establecer acciones de regulación y mejora.	Sprint Retrospective	Equipo Scrum
	Sintetizar acciones de regulación y mejora	Sprint Retrospective	Scrum Master
	Especificar Plan de acción	Sprint Retrospective	Scrum Master

Fuente: elaboración propia.

En la Fig. 33 se observa la representación gráfica del proceso de medición de productividad de equipo organizados por tres fases: Planeación, Ejecución y Evaluación. Para lograr dicho propósito se hace uso de la notación BPMN en la herramienta Bizagi Modeler [150].

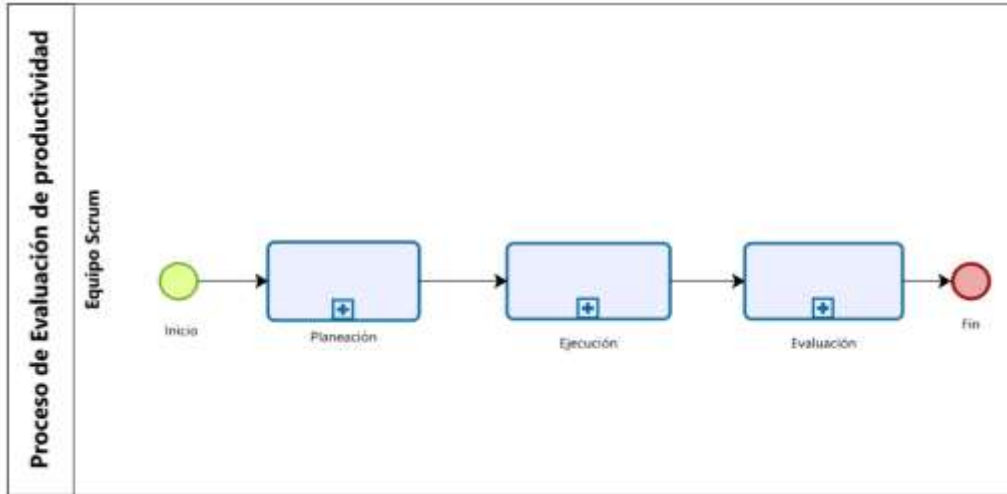


Fig. 33. Fases del proceso de medición de productividad de equipo en ASD

Fuente: Elaboración propia

En las Fig. 34 a la 36 se visualiza la representación gráfica de cada una de las fases del proceso de medición de productividad en la Fase de Planeación, Ejecución y Evaluación respectivamente, vinculado con los eventos y roles de Scrum. De igual manera se hace uso de la notación BPMN en la herramienta Bizagi Modeler.

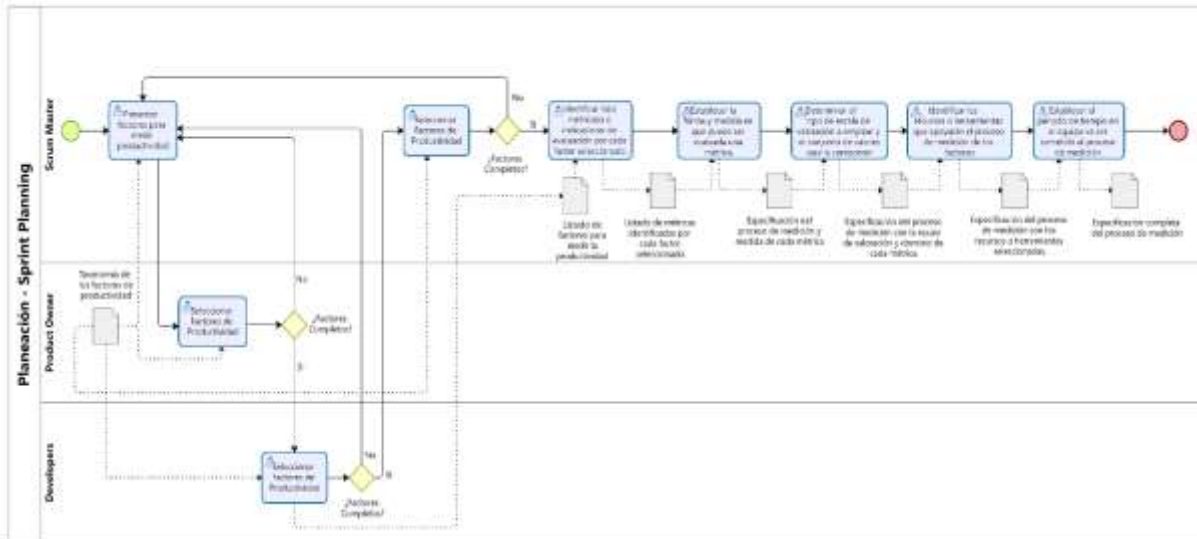


Fig. 34. Fase de planeación del proceso de medición de productividad

Fuente: Elaboración propia

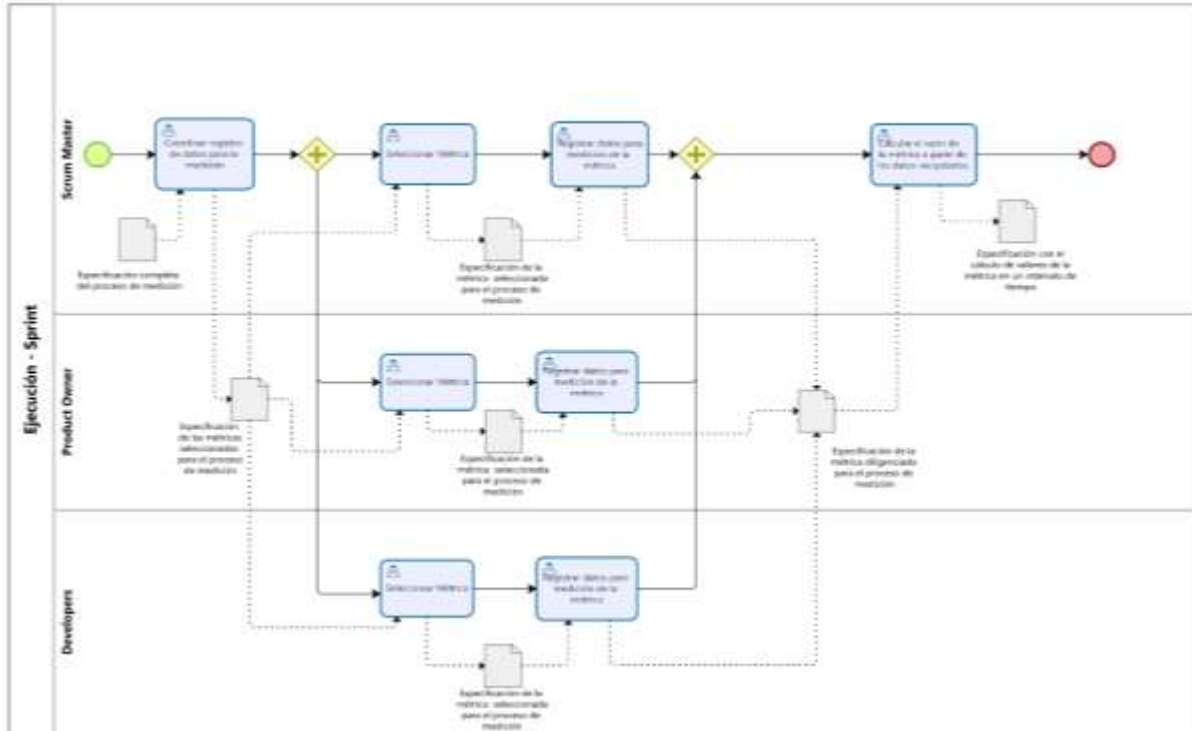


Fig. 35. Fase de ejecución del proceso de medición de productividad

Fuente: Elaboración propia

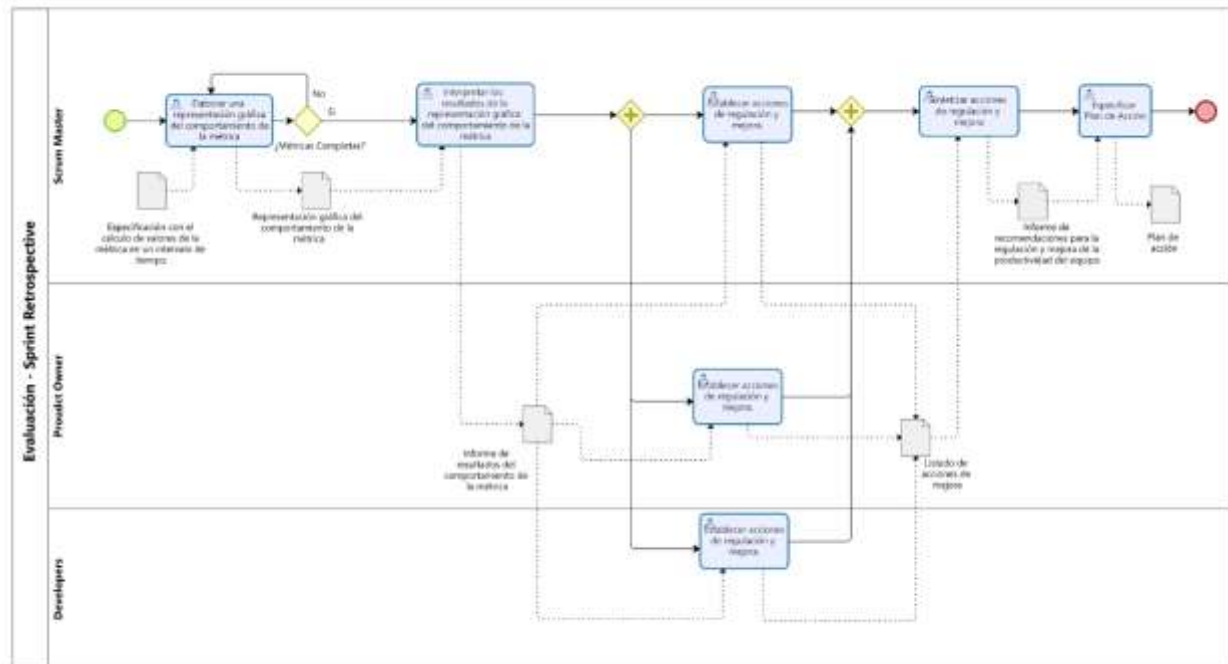


Fig. 36. Fase de evaluación del proceso de medición de productividad

Fuente: Elaboración propia

### 3) Validación del proceso

En esta sección, se presenta el proceso de validación de la propuesta del proceso de evaluación de productividad de equipo en ASD. Las actividades realizadas en el proceso de validación se presentan en la Fig. 37.

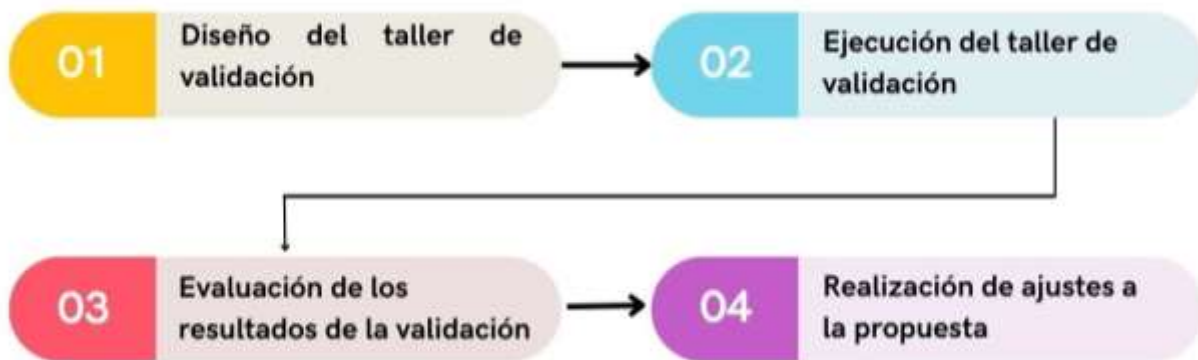


Fig. 37. Actividades del proceso de validación

Fuente: Elaboración propia

#### a) *Diseño del taller de validación*

Para el diseño del taller de validación, en primer lugar, se define el objetivo del mismo el cual consistió en evaluar la productividad de equipos que hacen uso del método ágil Scrum.

En segundo lugar, se establece la población en la cual se iba aplicar el taller. Para el caso particular, se decidió que el taller se aplicaría a estudiantes de los programas de Ingeniería de Sistemas de las Universidades: Mariana, Nariño y CESMAG.

En tercer lugar, se determina la duración estimada para desarrollar el taller la cual fue de 6 horas distribuidas en tres sesiones de dos horas cada una.

Como paso siguiente, se establecen los recursos para la aplicación del taller, los cuales fueron: un laboratorio de informática con equipos cómputo y conexión a internet. Posteriormente, se desarrolla una descripción resumida del proyecto de investigación, y se formula una pregunta orientadora.

Finalmente, se adiciona las actividades que los estudiantes deben seguir para desarrollar el taller durante las fases de planeación, ejecución, y evaluación, de la medición de productividad de equipo desde la perspectiva ASD.

Teniendo en cuenta las restricciones para la ejecución del taller, suministró a los estudiantes los factores y métricas de evaluación a trabajar.

En cuanto a los factores, se consideraron aquellos que fueron más relevantes para los profesionales de la industria de software (Ver Tabla L).

Los factores seleccionados para la validación fueron: en la **Categoría Significado**: Velocidad y Capacidad de trabajo; en la **Categoría Impacto**: Calidad; en la **Categoría Flexibilidad**: Aprendizaje de los fracasos y; en la **Categoría Socio Humanos**: Comunicación.

TABLA L.

NIVEL DE RELEVANCIA DE LOS FACTORES DE PRODUCTIVIDAD POR LOS PROFESIONALES DE LA INDUSTRIA DE SOFTWARE

<b>Categoría</b>	<b>Factor</b>	<b>Nivel de relevancia</b>
Significado	Velocidad	97.6%
	Capacidad de trabajo	89%
	Satisfacción del cliente	85.4%
	Comprensión de los roles de trabajo	84.1%
	Capacidad del equipo	80.5%
Impacto	Calidad	86.6%
	Manejo de los requisitos	85.4%
	Establecimiento de metas	84.1%
Flexibilidad	Aprendizaje de los fracasos	85.4%
	Aprendizaje organizacional	81.7%
	Mejorando el proceso	80.5%
Socio Humanos	Comunicación	92.7%
	Compromiso	88.9%
	Liderazgo del equipo	86.6%
	Motivación intrínseca	85.4%
	Habilidades sociales	85.4%
	Sentimiento de Orgullo	85.4%
	Configuración del equipo	85.4%
	Confianza	85.4%
	Atmósfera	85.4%
	Satisfacción del equipo	81.7%
	Poder de decisión	80.5%

Fuente: esta investigación

Para las métricas se seleccionó una por cada factor. Estas se visualizan en la Tabla LI.

TABLA LI.

MÉTRICAS DE LOS FACTORES DE PRODUCTIVIDAD

<b>Categoría</b>	<b>Factor</b>	<b>Métrica seleccionada</b>
Significado	Velocidad	Sumatoria de las historias de usuario completadas en una iteración
	Capacidad de trabajo	Porcentaje de trabajo planeado para una iteración que fue realizado
Impacto	Calidad	Nivel de cumplimiento del trabajo
Flexibilidad	Aprendizaje de los fracasos	Grado de aprendizaje de un equipo de desarrollo de software frente a las dificultades presentadas en una iteración.
Socio Humanos	Comunicación	Nivel de interacción entre los miembros del equipo para proveer el flujo de información de manera clara.

Cabe mencionar que, se construyeron dos talleres uno para la fase de planeación y otro para las fases de ejecución y evaluación del proceso de medición los cuales fueron aplicados a los estudiantes de las instituciones seleccionadas.

Para realizar la validación de la propuesta se elaboró un instrumento que tiene como propósito establecer el nivel de aceptación, dificultades presentadas, aspectos positivos, por incluir y mejorar; del proceso de medición de productividad en equipos Scrum.

### ***b) Ejecución del taller de validación***

Durante los meses de abril y mayo de 2023, se llevó a cabo el taller de validación del proceso de medición de productividad de equipo en ASD con estudiantes de las Universidades: Mariana, CESMAG y Nariño.

En total se contó con la participación de 77 estudiantes entre los semestres de quinto a noveno, organizados en 19 equipos de las asignaturas de Ingeniería de Software (Ver Tabla LII)

TABLA LII.

PARTICIPACIÓN DE LAS UNIVERSIDADES EN EL PROCESO DE VALIDACIÓN

<b>Institución</b>	<b>No. de participantes</b>	<b>Asignatura</b>	<b>No. de equipos de trabajo</b>
Universidad Mariana	13	Ingeniería de Software II	4
Universidad CESMAG	24	Ingeniería de Requisitos	5
Universidad de Nariño	40	Ingeniería de Software III	10

Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que en las tres instituciones se trabajó en un proyecto de semestre utilizando como marco para la gestión de trabajo los lineamientos de Scrum. Para el caso de la Universidad Mariana se trabajaron dos *Sprint* de 15 días cada uno. Para el caso de la Universidad CESMAG y Universidad de Nariño se trabajaron dos *Sprint* de tres semanas cada uno.

El taller tuvo una duración de seis horas, y se desarrolló en tres momentos importantes:

En el primer momento se realizó con los estudiantes la fase de planificación del proceso. En esta fase se contextualizó a los estudiantes acerca de la investigación de productividad de equipo en ASD, el modelo construido y la propuesta del proceso de medición de productividad con los artefactos elaborados para lograr dicho propósito. Además, los equipos conocieron los factores y las métricas de productividad con las cuales iban a efectuar el proceso de medición. Posteriormente, cada equipo (listar actividad). Estas actividades se llevaron a cabo en la reunión de planificación del *Sprint* 1.

A manera de ejemplo, se presenta un artefacto diligenciado en la fase de planeación que corresponde con el factor Velocidad (Ver Tabla LIII).

TABLA LIII.

FORMATO PARA ESPECIFICAR LA PLANEACIÓN DEL FACTOR VELOCIDAD

Categoría	Significado
Factor	Velocidad

Atributo (Métrica)	Medida	Forma	Tipo de Escala de medición	Escala de medición	Tipo de Recurso	Recurso	Periodo
Sumatoria de las historias de usuario completadas en una iteración.	Valor numérico entero	$V = \sum_{i=1}^n HU_{i\ Sprint}$ Donde V es la Velocidad del equipo	Likert	Muy alto [9,10] Alto [7,9) Intermedio [5,7) Bajo [3,5) Muy bajo [0,3)	Herramienta Computacional	Hoja de Cálculo	Sprint

Fuente: elaboración propia.

El segundo momento consistió en fase de ejecución, la cual se llevó a cabo durante el desarrollo del *Sprint*. Esta actividad permitió que los estudiantes recopilen la información generada al culminar cada *Sprint* y que estos datos pudieran ser consignados en los artefactos que se facilitaron a los equipos para que sean diligenciadas.

A manera de ejemplo, se presenta un artefacto diligenciado en la fase de ejecución que corresponde con el factor Velocidad (Ver Tabla LIV).

El tercer momento consistió en la fase de evaluación del proceso de medición. Al finalizar el ultimo *Sprint* los estudiantes reflexionan sobre las mediciones de productividad generadas en cada una de las iteraciones, realizan un informe de resultados y posteriormente un informe de recomendaciones.

A manera de ejemplo, se presenta un artefacto diligenciado en la fase de evaluación que corresponde con el factor Velocidad (Ver Tabla LV) y un extracto del informe de recomendaciones (Ver Tabla LVI).

TABLA LIV.

FORMATO PARA ESPECIFICAR LA EJECUCIÓN DEL FACTOR VELOCIDAD

Categoría	Significado
Factor	Velocidad
Atributo	Sumatoria de las historias de usuario completadas en una iteración.
Forma	$V = \sum_{i=1}^n HU_{i\ Sprint}$
Variables	



Periodo	Número de HU en Estado Done Semana 1	Número de HU en Estado Done Semana 2	Número de HU en Estado Done Semana 3	Número de HU en Estado Done Sprint	Velocidad	Resultado de la medición según escala
Sprint 1	2	3	3	8	8	Alto
Sprint 2	2	2	3	7	7	Alto

Fuente: elaboración propia.

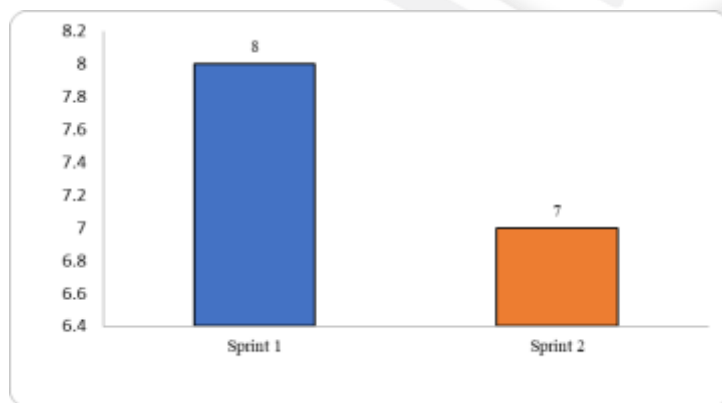
TABLA LV.

FORMATO PARA ESPECIFICAR LA EVALUACIÓN DEL FACTOR VELOCIDAD

Categoría	Significado
Factor	Velocidad
Atributo	Sumatoria de las historias de usuario completadas en una iteración.
Forma	$V = \sum_{i=1}^n HU_{Sprint_i}$

Representación gráfica de la medición

Informe de resultados del comportamiento de la métrica



Fecha: 30-05-2023

Observaciones: Observando las mediciones se puede evidenciar que la Velocidad durante los Sprint #1 y #2 estuvieron en la escala Alto, lo cual es producto de un buen trabajo en equipo. No obstante, en el Sprint #2 la velocidad tuvo una leve disminución, aspecto que se debe tener en cuenta para la siguiente iteración.

Fuente: elaboración propia.

TABLA LVI.

FORMATO INFORME DE RECOMENDACIONES

Informe de recomendaciones	
Fecha	30-05-2023
Id	Recomendación
1	Continuar promoviendo al equipo a alcanzar niveles de velocidad alto y muy alto para las próximas iteraciones.
2	Procurar cumplir con las tareas designadas en los tiempos que se estiman

Fuente: elaboración propia.

### c) *Evaluación de los resultados de la validación*

La validación de la propuesta se llevó a cabo utilizando como fuente de información a los estudiantes de los programas de Ingeniería de Sistemas de las Universidades Mariana, Nariño y CESMAG. Se utilizó la técnica de encuesta como método de recopilación de datos. Se diseñó, elaboró y validó un cuestionario que fue completado por 77 estudiantes. Las variables analizadas en la encuesta incluyeron el nivel de aceptación de la propuesta, las dificultades encontradas, así como los aspectos positivos, los aspectos por incluir y los aspectos por mejorar de la propuesta.

En la Fig. 38 se muestra que la propuesta obtuvo un nivel de aceptación del 97.4% en los niveles Alto y Muy Alto, lo cual representa a 75 estudiantes. Lo anterior significa que el proceso de medición de productividad de equipo en Scrum ha sido relevante para evaluar el desempeño de un equipo proponiendo un conjunto de actividades y artefactos que contribuyen al logro de dicho objetivo.

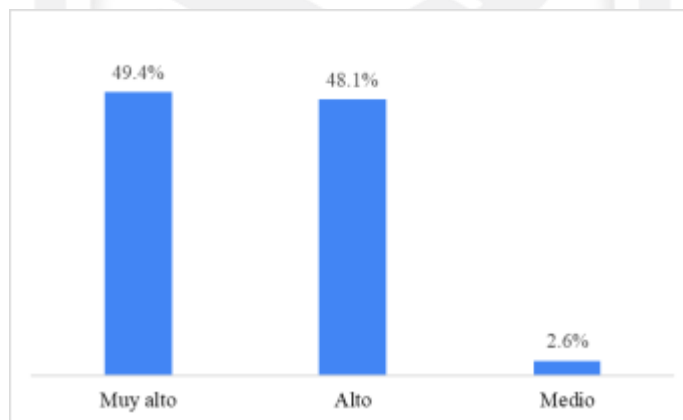


Fig. 38. Nivel de aceptación de la propuesta por los estudiantes  
Fuente: Elaboración propia

Al indagar por los aspectos positivos, en la Fig. 39, se puede observar que los estudiantes fundamentalmente resaltan que la propuesta brinda artefactos para medir productividad de manera organizada y sistemática. Además, se cuenta con un proceso sistemático que guía la medición de productividad desde la planeación hasta la evaluación. Finalmente, la propuesta se adapta al marco de trabajo Scrum.

INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN

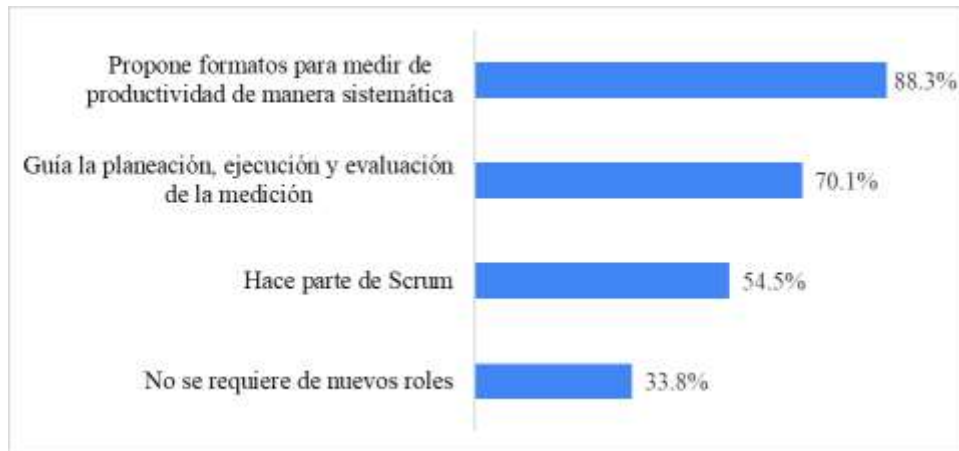


Fig. 39. Aspectos positivos de la propuesta según los estudiantes.  
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las dificultades manifestadas por la población objeto de la validación, al momento de medir productividad de equipo, se destaca que un 11.7% (9 estudiantes) manifiestan haber tenido inconvenientes al registrar los datos en los artefactos de medición, un 7.8% (6 estudiantes) en la comprensión del factor Capacidad de trabajo y un 3.9% (3 estudiantes) en definir las escalas de valoración (Ver Fig. 40).

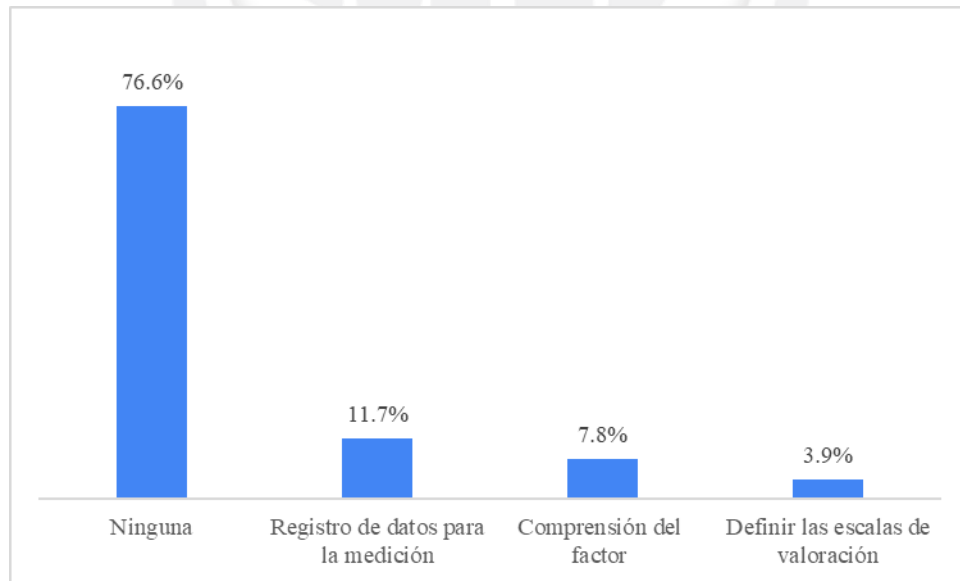


Fig. 40. Dificultades de la propuesta según los estudiantes.  
Fuente: Elaboración propia

Según los datos recopilados, los estudiantes han mencionado que uno de los aspectos que les gustaría incluir en la propuesta es la automatización del proceso de medición (Ver Fig. 41).

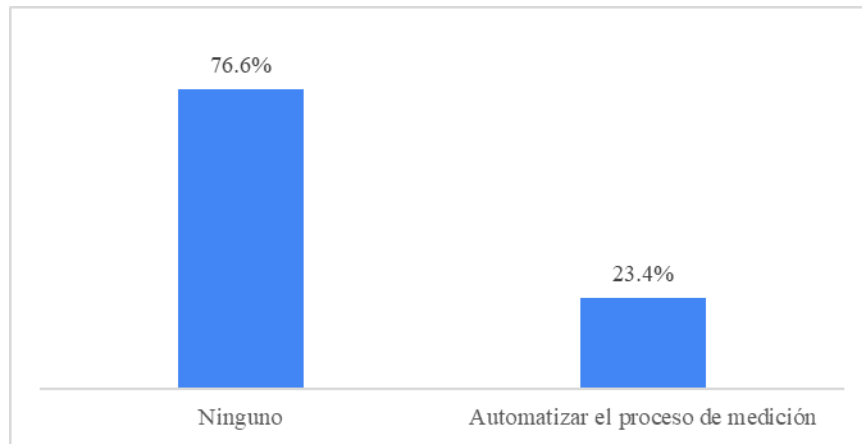


Fig. 41. Aspectos por incluir en la propuesta según los estudiantes.  
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los aspectos por mejorar (Ver Fig. 42), el 16.9% sugieren que se desarrolle una herramienta computacional que contribuya a la automatización del proceso de medición; y finalmente, el 9.1% de los estudiantes propone la disposición de un instructivo guía al momento de usar la propuesta lo que facilitaría la comprensión de los factores y el registro de los datos en los artefactos suministrados.

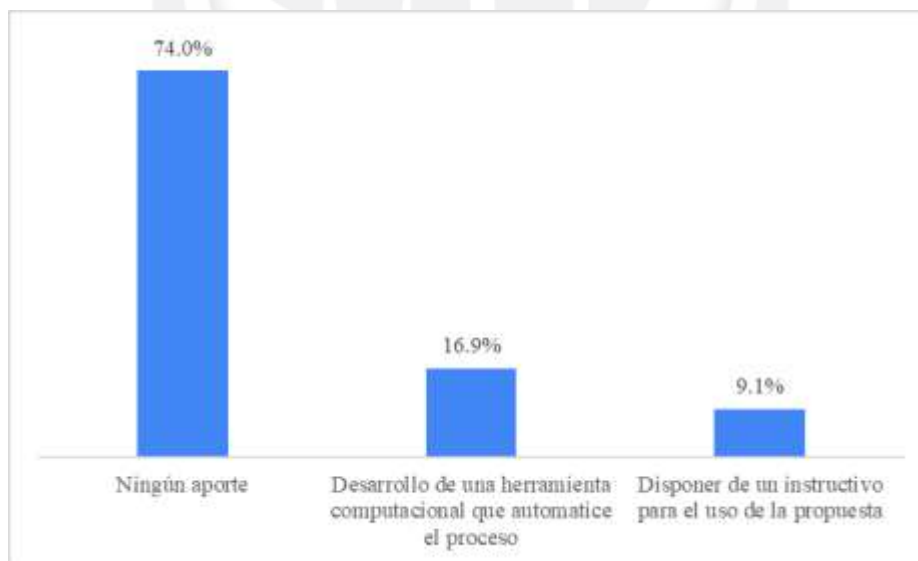


Fig. 42. Aspectos por mejorar de la propuesta según los estudiantes.  
Fuente: Elaboración propia

#### ***d) Realización de ajustes a la propuesta***

Después de analizar los resultados de la propuesta, se llevan a cabo ajustes basados en las recomendaciones ofrecidas por los estudiantes, las cuales se encuentran detalladas en la sección denominada "Evaluación de los resultados de la validación".

Teniendo en cuenta que una de las sugerencias es disponer un instructivo para el uso de la propuesta se realiza una guía de apoyo a este proceso.

#### 4) *Síntesis*

En esta sección se planteó un proceso de medición de productividad para equipos ágiles. Para el diseño del proceso se identificaron elementos y etapas. Como parte de los elementos se consideraron los eventos y roles de Scrum, las métricas para medir cada uno de los factores, actividades y recursos. En cuanto a las etapas del proceso de medición, se establecieron tres fases fundamentales. En primer lugar, se identificaron las métricas para la evaluación de cada uno de los 22 factores de productividad. En segunda instancia, se definieron las actividades, recursos y roles del proceso de medición. Finalmente, el proceso se adaptó al marco de trabajo Scrum. El proceso se representó usando la notación de modelado de procesos de negocio BPMN en tres momentos importantes: Planeación, Ejecución y Evaluación.

El proceso de medición de productividad propuesto fue validado por 77 estudiantes de las Universidades: Mariana, Nariño y CESMAG obteniendo un nivel de aprobación del 97.4%. Los participantes resaltan fundamentalmente como aspecto positivo que la propuesta posee artefactos para medir productividad de manera organizada y sistemática. La mayor dificultad presentada fue el de registrar los datos para la medición. Los estudiantes sugieren disponer un instructivo para el uso de la propuesta y que se desarrolle una herramienta computacional que contribuya con la automatización del proceso de medición siendo esta última recomendación considerada como parte de un trabajo futuro.

## V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### **Productividad de equipo en ASD concepciones, percepciones y factores**

La realización de un mapeo sistemático de literatura, siguiendo el protocolo de Petersen [77], en repositorios bibliográficos, ha sido fundamental para establecer las diversas concepciones existentes sobre la productividad de equipos en ASD. Este proceso ha permitido analizar ocho estudios primarios y obtener una visión completa de la temática.

Se determinó que las investigaciones analizadas provienen principalmente del contexto de la industria de software. Además, se observó que estas investigaciones han sido publicadas con frecuencia desde el año 2018, lo cual sugiere que el tema de la productividad es relevante y actual para los profesionales en este campo. Durante los últimos años, ha existido un creciente interés en el estudio de este tema.

Con la investigación se identificó que el concepto de productividad es un tema de gran relevancia para los equipos ASD y la industria de software [8],[9]. No obstante, la productividad no ha sido definida de forma clara, su concepción está ligada a una percepción abstracta [8],[9] por lo cual este tópico sigue siendo una fuente de estudio.

A pesar de que la literatura ha demostrado la ausencia de modelos o técnicas específicas para medir la productividad, diversos estudios han identificado que la productividad está compuesta por un conjunto de factores [8],[9],[10],[78],[79],[80],[82]. Estos factores son considerados fundamentales, ya que contribuyen a evaluar el desempeño de un equipo y fomentan su mejora continua. Estos hallazgos resaltan la significancia de considerar múltiples aspectos al analizar y promover la productividad en un entorno de desarrollo de software.

La búsqueda de información en la literatura ha sido crucial para identificar un total de 63 factores de productividad. Estos factores se han agrupado en cuatro categorías principales, respaldándose en los aspectos mencionados en [10]: Significado, Impacto, Flexibilidad y Alto Desempeño.

Dentro de la categoría Significado, se encuentran aquellos factores que están relacionados con la percepción que tienen los miembros del equipo de desarrollo sobre la productividad, ya sea desde un enfoque individual o desde una perspectiva general [10]. Estos factores son de gran importancia para comprender cómo se percibe y valora la productividad en el entorno de trabajo y pueden influir en su consecución y mejora.

Dentro de la categoría Impacto se encuentran los factores que ejercen una influencia en el comportamiento del equipo, pudiendo ser negativa, positiva o incluso neutral [10].

Dentro de la categoría de Flexibilidad se encuentran los factores que afectan el desempeño de un equipo cuando se enfrenta a condiciones que implican cambios [10]. Estos factores están relacionados con la capacidad que tiene el equipo para adaptarse y responder de manera efectiva a situaciones imprevistas.

Finalmente, en la categoría de Alto Desempeño se agrupan los factores relacionados con las capacidades que fortalecen la identidad del equipo y contribuyen a alcanzar niveles superiores de rendimiento [10]. Estos factores son fundamentales para promover una cultura de excelencia y lograr resultados sobresalientes.

Una vez consolidada las concepciones de productividad en la literatura fue necesario efectuar un acercamiento con profesionales de la industria de software el cual resultó ser valioso para contrastar las definiciones obtenidas en los artículos con su percepción. Para lograr este propósito, se siguió el protocolo para el diseño y aplicación de encuestas en Ingeniería de Software de Kitchenham y Pfleeger [76].

Aunque los 82 profesionales consultados no proporcionaron una definición concreta de productividad, sí confirmaron que existen factores susceptibles de ser evaluados que proporcionan información sobre este concepto. Esto indica que, aunque no se mencionaran explícitamente, los factores de productividad son considerados parte del proceso de medición.

De acuerdo con el nivel de relevancia dada por los integrantes de equipos ASD, se estableció que, de los 63 factores identificados en la literatura solo 23 son valiosos para la medición de productividad.

Esta retroalimentación directa de los profesionales proporciona una perspectiva práctica y enriquecedora para complementar las definiciones teóricas y contribuir a un entendimiento más completo de los factores que inciden en la productividad en este campo.

### **Modelo de evaluación de productividad de equipo en ASD**

La segunda fase de la investigación consistió en construir un modelo conceptual de evaluación de productividad de equipo en ASD representando de manera abstracta, simplificada y visual la realidad [4],[5],[6].

En la construcción del modelo conceptual de medición de productividad se consideran tres interrogantes fundamentales: ¿Qué medir?, ¿Cómo medir? y ¿Qué se requiere para apoyar la medición?

El primer interrogante ¿Qué medir?, se refiere a la identificación del objetivo principal del modelo de medición. En esta parte se incluyen los factores, provenientes de fuentes confiables y la consulta directa a profesionales del campo, los cuales brindan una base sólida y fundamentada para evaluar y cuantificar la productividad en el contexto de la industria de software. Durante esta etapa, se realizan comparaciones entre los factores identificados y se establece que, aquellos que pertenecían a la categoría de Alto Desempeño estaban estrechamente relacionados con factores Socio-Humanos, tal como se describe en los estudios [98], [99], [100]. Por lo anterior se efectuó una nueva reclasificación obteniendo 22 factores organizados en las categorías: Significado, Impacto, Flexibilidad y Socio Humanos.

El segundo interrogante ¿Cómo medir?, implicó establecer la forma o manera en la que se lleva a cabo la medición. Para ello, se siguieron los lineamientos de Fenton y Bieman [3] los cuales describen que el proceso de medición en Ingeniería de software se caracteriza por la descripción de entidades, atributos y relaciones que se originan en el mundo real. El modelo de productividad de equipo en ASD al ser netamente conceptual se orientó por plasmar estos elementos a través de una representación simbólica apoyada en UML.

El tercer interrogante ¿Qué se requiere para apoyar la medición?, se refiere a los recursos necesarios para respaldar el proceso de medición de productividad.

Al considerar estos tres interrogantes en la construcción del modelo conceptual de medición de productividad, se establece una base sólida para capturar y evaluar de manera efectiva el rendimiento y la eficiencia en relación con los objetivos establecidos.

### **Proceso de evaluación de productividad de equipo en ASD**

En la tercera fase de la investigación, se llevó a cabo la consolidación de un proceso de evaluación de productividad dentro de un método ágil de desarrollo de software. Según el reporte sobre el estado de la agilidad al 2022 el método ágil más utilizado en la industria de software corresponde con Scrum con un 87% [106]. Tanto el SMS como la recolección de información con profesionales de la industria confirmaron esta afirmación. Por esta razón, se decidió plantear el proceso de evaluación de productividad siguiendo los principios y criterios de este marco de trabajo.

El proceso está compuesto por elementos y se desarrolla en tres etapas. El proceso se inició definiendo las métricas específicas para cada uno de los 22 factores de productividad relevantes seleccionados a través de un mapeo sistemático de literatura (SMS). El propósito de la revisión fue establecer una definición precisa de cada factor y los indicadores de medición asociados utilizando métricas.

Posteriormente, se procedió a establecer las actividades, recursos y roles que debían ser considerados en el proceso de evaluación, dividiéndolos en tres momentos clave: Planeación, Ejecución y Evaluación. Para cada uno de estos momentos, se diseña un artefacto que permite especificar los resultados de las tareas. Estos artefactos brindan una estructura clara y definida para guiar la implementación del proceso, asegurando su coherencia y eficacia.

Finalmente, los componentes definidos fueron integrados y adaptados al marco y dinámicas del método ágil Scrum, aprovechando sus estructuras y ceremonias existentes para facilitar la implementación efectiva del proceso. Para la representación del proceso se hace uso del modelo de procesos de negocios propuesto por [102] haciendo uso de la notación BPMN

De esta forma, se logró una sinergia entre el enfoque ágil de Scrum y el objetivo de medir y mejorar la productividad en un contexto específico de desarrollo de software [104].

### **Validación experimental de la propuesta**

Durante la etapa de validación del proceso de medición, se identificaron tanto los aspectos positivos y mejorables de la propuesta, así como las dificultades encontradas. Se observó que la propuesta obtuvo un alto grado de aceptación, superando el 90%, lo cual indica de manera concluyente que el proceso de medición establecido es eficaz para evaluar la productividad en equipos ASD. Se plantea la idea de brindar mayor apoyo al proceso de medición mediante la creación de un instructivo que guíe los pasos a seguir, así como la automatización del proceso a través de una herramienta computacional.



## VI. CONCLUSIONES

La caracterización realizada en esta investigación permitió identificar que el concepto de productividad sigue siendo objeto de estudio, puesto que su significado es abstracto. Asimismo, se determinó que la productividad es considerada relevante para las organizaciones y los equipos ASD, porque se la percibe como un indicador de mejora. Además, se ha constatado que la productividad está conformada por una serie de factores que ejercen influencia en ella. Estos resultados se obtienen con base a un mapeo sistemático de literatura efectuado en seis bancos bibliográficos y la recopilación de información con profesionales de la industria de software.

Al realizar el SMS, se identificaron 8 artículos relacionados con productividad de equipo en ASD los cuales permitieron establecer 63 factores para medirla. Estos factores se categorizaron en: Significado, Impacto, Flexibilidad y Alto Desempeño.

De acuerdo con las percepciones de productividad de los profesionales de la industria del software, se logra establecer que son relevantes 23 de los 63 factores de los identificados en la literatura.

Se construye un modelo conceptual para medir la productividad de los equipos en ASD. Para representar este modelo, se emplea la notación UML del diagrama de clases y se consideraron tres aspectos fundamentales: el objetivo, la forma y los recursos de la medición. El modelo plantea 22 factores para medir productividad de equipo en ASD, los cuales se recategorizaron en: Significado, Flexibilidad, Impacto y Socio Humano.

Se operativiza el modelo de evaluación de productividad con el diseño de un proceso de medición para los momentos: Planeación, Ejecución y Evaluación, el cual se integra al marco de trabajo de Scrum.

En la validación del proceso de medición con estudiantes de las universidades: Mariana, CESMAG y Nariño se logra un alto porcentaje de aceptabilidad por parte de los participantes. La principal dificultad encontrada radicó en la captura de los datos necesarios para llevar a cabo la medición. Los participantes sugirieron la creación de un instructivo que guíe el uso de la propuesta, así como el desarrollo de una herramienta informática que facilite la automatización del proceso de medición.

Este estudio presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, la búsqueda de información para el mapeo sistemático se restringió a un conjunto específico de repositorios bibliográficos, y la inclusión de estudios se limitó únicamente a aquellos disponibles en inglés. Esta restricción podría haber dejado fuera investigaciones relevantes que podrían haber aportado al análisis en otro idioma como por ejemplo español.

En relación con las percepciones de los profesionales de la industria de software recopiladas en esta investigación, se logró obtener una comprensión profunda de la productividad de equipo en el contexto de ASD y se identificaron los factores más influyentes. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que el tamaño de la muestra utilizado podría no ser suficiente para generalizar los resultados. Además, la mayoría de los participantes fueron de origen colombiano, lo que podría limitar la representatividad geográfica y cultural de las conclusiones.

Con respecto a la validación del modelo propuesto es relevante señalar que, el taller de validación se llevó a cabo en un ambiente académico y se basó en las percepciones de estudiantes universitarios.

## VII. RECOMENDACIONES

Durante el proceso investigación para analizar las concepciones de productividad en la literatura, se llevaron a cabo exploraciones en 6 gestores bibliográficos. Sin embargo, al examinar los resultados obtenidos, solo 5 de ellos resultaron pertinentes para el proceso en cuestión. Es relevante señalar que se enfrentaron dificultades considerables al utilizar el banco de datos Springer Link. Esto se debió a que los resultados obtenidos tras aplicar los criterios de búsqueda fueron demasiado extensos y la información recopilada careció del mismo nivel de precisión que en los otros repositorios bibliográficos. Por lo anteriormente descrito, se recomienda emplear cadenas de búsqueda más concisas al trabajar con este gestor en el futuro.

Al indagar las percepciones de productividad entre de los profesionales de la industria del software, se obtiene información proveniente de Colombia. En este sentido, se plantea la posibilidad de realizar un estudio exploratorio con profesionales de otros países en América Latina, dado que gran parte de los estudios identificados en la literatura se originaron en Europa y Asia.

Debido a que, la propuesta del proceso de medición de productividad de equipo en ASD fue validada con estudiantes universitarios, sería interesante replicar este ejercicio con profesionales de la industria para evaluar su nivel de aceptación.



MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN

## VIII. TRABAJOS FUTUROS

Como trabajo futuro se sugiere realizar un estudio exploratorio que permita recopilar las percepciones de productividad de equipo en ASD con profesionales de la Industria de Software a nivel de Latinoamérica, considerando que esta investigación incluyó en su mayoría a los profesionales de Colombia.

Sería enriquecedor realizar una ampliación en la validación del proceso de medición de la productividad de equipos en ASD, incluyendo aquellos que hacen parte de la industria del software. Esto permitiría determinar su nivel de aceptación, recopilar sus perspectivas y apreciaciones, las cuales podrían ser de gran utilidad para mejorarlo. Al involucrar a profesionales en la validación, se obtendría una visión más completa y contextualizada del proceso, lo que contribuiría a fortalecer su aplicabilidad y relevancia en un entorno empresarial.

Durante la validación con estudiantes de las Universidades Nariño, CESMAG y Mariana en la ciudad de Pasto, se identificó la necesidad de desarrollar una aplicación que facilite la automatización del proceso de medición. Esta oportunidad de investigación es interesante, porque pretende automatizar el proceso de recopilación de datos que permita brindar información a los equipos ágiles para que mejoren su productividad de una manera más simple y transparente.



MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN

## IX. PUBLICACIONES Y DIVULGACIÓN

Los resultados de esta investigación fueron presentados en varios eventos y revistas nacionales e internacionales.

### A. PUBLICACIONES EN REVISTAS

1. S.-M. Guerrero-Calvache and G. Hernández, Conceptions and Perceptions of Software Industry Professionals on Team Productivity in Agile Software Development: A Comparative Study. *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 30, no. 58, p. e13817, Dec. 2021. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n58.2021.13817> [151].
2. M. Guerrero-Calvache and G. Hernández, Team Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study,” in *International Conference on Applied Informatics*, pp. 455–471, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-19647-8\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-031-19647-8_32) [152].
3. M. Guerrero-Calvache y G. Hernández, Un estudio exploratorio de las percepciones de productividad en equipos de software ágil», *Tecnológicas.*, vol. 26, n.º 56, p. e2625, May 2023. <https://doi.org/10.22430/22565337.2625> [153].

### B. PUBLICACIONES SOMETIDAS

1. M. Guerrero-Calvache and G. Hernández, Team productivity factors in Agile Software Development: an exploratory survey with practitioners. Sometido Junio 2023 en *International Conference on Applied Informatics - ICAI 2023*.

### C. CONTRIBUCIONES EN EVENTOS CIENTÍFICOS

Como parte de la apropiación social de conocimiento, esta investigación permitió obtener los siguientes productos.

1. **Ponencia:** *Concepciones y percepciones de los profesionales de la industria de software sobre productividad de equipo en ASD: un estudio comparativo*. Presentada en el 5to Congreso Andino en Computación, Informática y Educación, realizada del 03 al 05 de noviembre del 2021, Pasto, Colombia.
2. **Ponencia:** *Productividad a nivel de equipo en el Desarrollo Ágil de Software: Un mapeo sistemático de literatura*. Presentada en el XVI Congreso Colombiano de Computación (16CCC) y la Conferencia Latinoamericana de Tecnologías de Aprendizaje (LACLO) realizada del 17 al 21 de octubre del 2022 en Armenia – Quindío, Colombia.
3. **Ponencia:** *Productividad de equipo en el desarrollo ágil de software*. Presentada en I Congreso Internacional de Ciencia, Innovación y Cultura. 26 y 27 de octubre de 2022. Red de Universidades Regionales Latinoamericanas. Pasto, Colombia.
4. **Ponencia:** *Team Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study*. Presentada en 5th International Conference on Applied Informatics ICAI 2022, del 27 al 29 de octubre de 2022, Arequipa, Peru.
5. **Ponencia:** *Factores relevantes de productividad en equipos ágiles: una mirada desde la perspectiva de los profesionales*. Presentada en II Congreso Internacional de Ciencia en Ingeniería CICI 2023 realizada el 24 de febrero de 2023, Pasto, Colombia.

#### **D. RECONOCIMIENTOS**

1. Mejor trabajo presentado en el área temática Ciencias de la Computación e Informática con el proyecto ***“Factores relevantes de productividad en equipos ágiles: una mirada desde la perspectiva de los profesionales”*** en el II Congreso Internacional de Ciencia e Ingeniería CICI 2023.



**MAESTRÍA EN**  

---

**INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y COMPUTACIÓN**

## REFERENCIAS

- [1] C. de O. Melo, “Productivity of agile teams: an empirical evaluation of factors and monitoring processes,” 2015.
- [2] Pragma, “Agilismo: clave para la transformación digital,” *Report*. <https://www.pragma.com.co/academia/conceptos/agilismo-clave-para-la-transformacion-digital> (accessed Jan. 07, 2021).
- [3] N. Fenton and J. Bieman, *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach, Third Edition*, 3rd ed. USA: CRC Press, Inc., 2014.
- [4] J. Liu, Y. Yu, L. Zhang, and C. Nie, “An Overview of Conceptual Model for Simulation and Its Validation,” *Procedia Eng.*, vol. 24, pp. 152–158, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2618>.
- [5] L. de la C. Delgado Olivera, L. M. Díaz Alonso, L. de la C. Delgado Olivera, and L. M. Díaz Alonso, “Modelos de Desarrollo de Software,” *Rev. Cuba. Ciencias Informáticas*, vol. 15, no. 1, pp. 37–51, 2021, Accessed: Dec. 12, 2022. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2227-18992021000100037&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992021000100037&lng=es&nrm=iso&tlng=es).
- [6] M. A. J. Sabegh and J. Recker, “Combined Use of Conceptual Models in Practice: An Exploratory Study,” *J. Database Manag.*, vol. 28, no. 2, pp. 56–88, 2017, doi: 10.4018/JDM.2017040103.
- [7] IEEE Computer Society, *Software Engineering Competency Model (SWECOM)* • IEEE Computer Society. 2014.
- [8] E. Scott, K. N. Charkie, and D. Pfahl, “Productivity, Turnover, and Team Stability of Agile Teams in Open-Source Software Projects,” in *2020 46th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, 2020, pp. 124–131, doi: 10.1109/SEAA51224.2020.00029.
- [9] A. Mashmool, S. Khosravi, J. H. Joloudari, I. Inayat, T. J. Gandomani, and A. Mosavi, “A Statistical Model to Assess the Team’s Productivity in Agile Software Teams,” in *2021 IEEE 4th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, 2021, pp. 11–18, doi: 10.1109/CANDO-EPE54223.2021.9667902.
- [10] F. Fagerholm, M. Ikonen, P. Kettunen, J. Münch, V. Roto, and P. Abrahamsson, “How Do Software Developers Experience Team Performance in Lean and Agile Environments?,” 2014, doi: 10.1145/2601248.2601285.
- [11] M. Sarpiri and T. Javdani Gandomani, “A case study of using the hybrid model of scrum and six sigma in software development,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, pp. 5342–5350, Dec. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp5342-5350.
- [12] C. Ebert and R. Dumke, *Software measurement establish, extract, evaluate, execute*. Berlin: Springer, 2007.
- [13] K. Schwaber and J. Sutherland, “The Scrum Guide The Definitive Guide to Scrum: The

Rules of the Game,” 2020.

- [14] SCRUMstudy, *La Guía para el Cuerpo de Conocimiento de Scrum (Guía SBOK™) -Cuarta Edición*, vol. 4, no. 69. 2022.
- [15] I. Fatema and K. Sakib, “Factors Influencing Productivity of Agile Software Development Teamwork: A Qualitative System Dynamics Approach,” in *2017 24th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, 2017, pp. 737–742, doi: 10.1109/APSEC.2017.95.
- [16] CertiProf, “Agile Adoption Report 2020,” United States, 2020. Accessed: Nov. 02, 2020. [Online]. Available: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0299/9215/7283/files/CertiProf\\_Agile\\_Adoption\\_Report\\_2020\\_English.pdf?v=1593360927](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0299/9215/7283/files/CertiProf_Agile_Adoption_Report_2020_English.pdf?v=1593360927).
- [17] G. Hernández, Á. Martínez, R. Jiménez, and F. Jiménez, “Métricas de productividad para equipo de trabajo de desarrollo ágil de software: una revisión sistemática,” *TecnoLógicas*, vol. 22, pp. 63–81, Dec. 2019, doi: 10.22430/22565337.1510.
- [18] C. Terán, J. Torres, and P. Flores, “Productivity Model for Software Development Factories under an Agile Methodological Approach,” in *2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2017, pp. 1039–1042, doi: 10.1109/CSCI.2017.180.
- [19] Á. García-Crespo, Adrián Hernández-López Ricardo Colomo-Palacios, “Productivity in software engineering: A study of its meanings for practitioners: Understanding the concept under their standpoint,” in *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2012)*, 2012, pp. 1–6.
- [20] Adrián Hernández-López; Ricardo Colomo-Palacios; Ángel García-Crespo, “Medidas de productividad en los proyectos de desarrollo de software: una aproximación por puestos de trabajo,” Carlos III de Madrid, 2014.
- [21] C. de O. Melo and F. Kon, “Empirical Evaluation of Agile Practices Impact on Team Productivity BT - Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming,” 2011, pp. 322–323.
- [22] S. M. A. Shah, E. Papatheocharous, and J. Nyfjord, “Measuring Productivity in Agile Software Development Process: A Scoping Study,” in *Proceedings of the 2015 International Conference on Software and System Process*, 2015, pp. 102–106, doi: 10.1145/2785592.2785618.
- [23] M. A. Maldonado Arango, “Factores que afectan la productividad en equipos Scrum analizados con pensamiento sistémico,” Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [24] L. Machuca-Villegas and G. P. Gasca-Hurtado, “Toward a Model based on Gamification to Influence the Productivity of Software Development Teams,” in *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2019, pp. 1–6, doi: 10.23919/CISTI.2019.8760813.
- [25] P. Castañeda and D. Mauricio, “A model based on data envelopment analysis for the measurement of productivity in the software factory,” *Int. J. Inf. Technol. Syst. Approach*, vol. 13, no. 2, pp. 1–26, 2020, doi: 10.4018/IJITSA.2020070101.

- [26] J. Iqbal, M. Omar, and A. Yasin, "An Empirical Analysis of the Effect of Agile Teams on Software Productivity," in *2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, 2019, pp. 1–8, doi: 10.1109/ICOMET.2019.8673413.
- [27] P. S. C. Vargas and D. Mauricio, "A review of literature about models and factors of productivity in the software factory," *Int. J. Inf. Technol. Syst. Approach*, vol. 11, no. 1, pp. 48–71, 2018, doi: 10.4018/IJITSA.2018010103.
- [28] S. L. Ramírez-Mora and H. Oktaba, "Team Maturity in Agile Software Development: The Impact on Productivity," in *2018 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*, 2018, pp. 732–736, doi: 10.1109/ICSME.2018.00091.
- [29] F. Tavakoli and T. J. Gandomani, "A Novel Team Productivity Model for XP Teams," *J. Cases Inf. Technol.*, vol. 20, no. 4, pp. 93–109, 2018, doi: 10.4018/JCIT.2018100106.
- [30] I. Fatema and K. Sakib, "Using Qualitative System Dynamics in the Development of an Agile Teamwork Productivity Model," *Int. J. Adv. Softw.*, vol. 11, no. 1, pp. 170–185, Jul. 2018.
- [31] S. L. Ramírez-Mora and H. Oktaba, "Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study," in *2017 5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, 2017, pp. 44–53, doi: 10.1109/CONISOFT.2017.00013.
- [32] Á. Fiallos Ordoñez, "Mejoramiento en la productividad de software por la adaptación de un marco de desarrollo ágil," *Enfoque UTE*, vol. 6, no. 2, pp. 117–134, Nov. 2015, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572260847009>.
- [33] Digital.ai, "State of Agile Report | State of Agile," *Report*, 2020. <https://stateofagile.com/#ufh-i-615706098-14th-annual-state-of-agile-report/7027494> (accessed Nov. 02, 2020).
- [34] R. S. Pressman, "Ingeniería del Software - Un Enfoque Práctico 5b: Edición (Spanish Edition)," p. 829, 2010.
- [35] K. Jinzenji, A. Jin, and T. Muramoto, "Productivity Evaluation Indicators Based on LEAN and their Application to Compare Agile and Waterfall Projects," in *2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*, 2020, pp. 460–466, doi: 10.1109/COMPSAC48688.2020.0-208.
- [36] D. Beck, Kent; Beedle, Mike; van Bennekum, Arie; Cockburn, Alistair; Cunningham, Ward; Fowler, Martin; Grenning, James; Highsmith, Jim; Hunt, Andrew; Jeffries, Ron; Kern, Jon; Marick, Brian; Martin, Robert; Mellor, Steve; Schwaber, Ken; Sutherland, Jeff; Tho, "Manifiesto por el Desarrollo Ágil," *Sitio web*, 2001. <https://agilemanifesto.org/iso/es/manifiesto.html> (accessed Nov. 02, 2020).
- [37] I. Romero Navarrete, "Evaluación de Filosofías y Técnicas para el mejoramiento de la Productividad y Calidad," *Tesis*, 1994. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5553/Capitulo2.pdf> (accessed Nov. 02, 2020).
- [38] A. Ghobadian and T. Husband, "Measuring total productivity using production functions,"



*Int. J. Prod. Res.*, vol. 28, no. 8, pp. 1435–1446, 1990, doi: 10.1080/00207549008942803.

- [39] A. Hernández-López, R. Colomo-Palacios, and Á. García-Crespo, “Productivity in software engineering: A study of its meanings for practitioners: Understanding the concept under their standpoint,” in *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2012)*, 2012, pp. 1–6, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6263205>.
- [40] S. Estellés Miguel, “LA PRODUCTIVIDAD EN LA DÉCADA DEL 2010: CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA EN LAS TÉCNICAS DE ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS EN EMPRESAS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA,” 2015.
- [41] O. Moreno, “Productividad y desarrollo económico,” *Productividad Y Desarrollo Economico*. 1995, Accessed: Jan. 08, 2021. [Online]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7268/Capitulo1.pdf>.
- [42] S. Tangen, “Demystifying productivity and performance,” *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 54, pp. 34–46, 2005.
- [43] E. Oliveira, T. Conte, M. Cristo, and E. Mendes, “Software Project Managers’ Perceptions of Productivity Factors: Findings from a Qualitative Study,” in *ESEM '16: Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 2016, pp. 1–6, doi: 10.1145/2961111.2962626.
- [44] C. J. Dale and H. van der Zee, “Software productivity metrics: who needs them?,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 34, no. 11, pp. 731–738, 1992, doi: [https://doi.org/10.1016/0950-5849\(92\)90168-O](https://doi.org/10.1016/0950-5849(92)90168-O).
- [45] IEEE, “IEEE Standard for Software Productivity Metrics,” *IEEE Std 1045-1992*. p. 0\_1, 1993, doi: 10.1109/IEEESTD.1993.114398.
- [46] C. Jones, “Software metrics: good, bad and missing,” *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 27, no. 9, pp. 98–100, 1994, doi: 10.1109/2.312055.
- [47] J. D. Blackburn, G. D. Scudder, and L. N. Van Wassenhove, “Improving speed and productivity of software development: a global survey of software developers,” *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 22, no. 12, pp. 875–885, 1996, doi: 10.1109/32.553636.
- [48] P. Devanbu, S. Karstu, W. Melo, and W. Thomas, “Analytical and empirical evaluation of software reuse metrics,” in *Proceedings of IEEE 18th International Conference on Software Engineering*, 1996, pp. 189–199, doi: 10.1109/ICSE.1996.493415.
- [49] R. B. Kieburtz *et al.*, “A Software Engineering Experiment in Software Component Generation,” in *Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering*, 1996, pp. 542–552.
- [50] J. A. Lane and D. Zubrow, “Integrating Measurement with Improvement: An Action-Oriented Approach Experience Report,” in *Proceedings of the (19th) International Conference on Software Engineering*, 1997, pp. 380–389, doi: 10.1109/ICSE.1997.610293.
- [51] A. Mockus, R. T. Fielding, and J. D. Herbsleb, “Two Case Studies of Open Source Software

- Development: Apache and Mozilla,” *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, vol. 11, no. 3, pp. 309–346, 2002, doi: 10.1145/567793.567795.
- [52] A. MacCormack, C. F. Kemerer, M. Cusumano, and B. Crandall, “Trade-Offs between Productivity and Quality in Selecting Software Development Practices,” *IEEE Softw.*, vol. 20, no. 5, pp. 78–85, 2003, doi: 10.1109/MS.2003.1231158.
- [53] B. Kitchenham and E. Mendes, “Software productivity measurement using multiple size measures,” *IEEE Trans. Softw. Eng.*, vol. 30, no. 12, pp. 1023–1035, 2004, doi: 10.1109/TSE.2004.104.
- [54] M. Kersten and G. C. Murphy, “Using Task Context to Improve Programmer Productivity,” in *Proceedings of the 14th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering*, 2006, pp. 1–11, doi: 10.1145/1181775.1181777.
- [55] D. Card, “The Challenge of Productivity Measurement,” Jan. 2006.
- [56] M. He, M. Li, Q. Wang, Y. Yang, and K. Ye, “An Investigation of Software Development Productivity in China BT - Making Globally Distributed Software Development a Success Story,” 2008, pp. 381–394.
- [57] M. Cataldo, J. Herbsleb, and K. Carley, *Socio-Technical Congruence: A Framework for Assessing the Impact of Technical and Work Dependencies on Software Development Productivity*. 2008.
- [58] A. Trendowicz and J. B. T.-A. in C. Münch, “Chapter 6 Factors Influencing Software Development Productivity—State-of-the-Art and Industrial Experiences,” vol. 77, Elsevier, 2009, pp. 185–241.
- [59] M. Zhou and A. Mockus, “Developer Fluency: Achieving True Mastery in Software Projects,” in *Proceedings of the Eighteenth ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering*, 2010, pp. 137–146, doi: 10.1145/1882291.1882313.
- [60] V. Nguyen, L. Huang, and B. Boehm, “An Analysis of Trends in Productivity and Cost Drivers over Years,” 2011, doi: 10.1145/2020390.2020393.
- [61] K. Petersen, “Measuring and predicting software productivity: A systematic map and review,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 53, no. 4, pp. 317–343, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2010.12.001>.
- [62] C. Melo, D. S. Cruzes, F. Kon, and R. Conradi, “Agile Team Perceptions of Productivity Factors,” in *2011 Agile Conference*, 2011, pp. 57–66, doi: 10.1109/AGILE.2011.35.
- [63] L. Cheikhi, R. Al-Qutaish, and A. Idri, “Software Productivity: Harmonization in ISO/IEEE Software Engineering Standards,” *J. Softw.*, vol. 7, pp. 462–470, Feb. 2012, doi: 10.4304/jsw.7.2.462-470.
- [64] N. Forsgren, M.-A. Storey, C. Maddila, T. Zimmermann, B. Houck, and J. Butler, “The SPACE of Developer Productivity: There’s More to It than You Think.,” *Queue*, vol. 19, no. 1, pp. 20–48, 2021, doi: 10.1145/3454122.3454124.
- [65] R. Prikladnicki, M. G. Perin, S. Marczak, and A. C. S. Dutra, “The Best Software Development Teams Might be Temporary,” *IEEE Softw.*, vol. 34, no. 2, pp. 22–25, 2017,

doi: 10.1109/MS.2017.50.

- [66] E. Mike, S. Joanne, M. Tanner, J.-P. Van Belle, and S. Watt, “The Impact of Collocation on the Effectiveness of Agile IS Development Teams,” *IBIMA Publ.*, vol. 2010, no. 2010, p. 11, Jan. 2010, doi: 10.5171/2010.959194.
- [67] & W. Smith, D. C., Harris, M., Myersclough, P. and A., “Building Highly Effective Information Systems Project Teams: An Explanatory Study, Project Management Research at the Turn of the Millenium,” *PMI® Res. Conf. 2000 Proj. Manag. Res. Turn Millenn.*, pp. 419–429, 2000, Accessed: Jan. 21, 2021. [Online]. Available: <https://www.pmi.org/learning/library/building-information-systems-project-teams-1074>.
- [68] C. de O. Melo, D. S. Cruzes, F. Kon, and R. Conradi, “Interpretative case studies on agile team productivity and management,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 55, no. 2, pp. 412–427, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.09.004>.
- [69] G. Hernandez, A. Navarro, R. Jiménez, and F. Jiménez, “Cómo los profesionales perciben la relevancia de las métricas de productividad para un equipo ágil de desarrollo de software,” *Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, no. E32, pp. 596–609, Aug. 2020, [Online]. Available: <https://www.proquest.com/openview/5d92effec869242e85325ebf710b73da/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393#:~:text=Los profesionales asumen que el,agregarían valor a su trabajo>.
- [70] C. Stylianou and A. S. Andreou, “Investigating the Impact of Developer Productivity, Task Interdependence Type and Communication Overhead in a Multi-Objective Optimization Approach for Software Project Planning,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 98, no. C, pp. 79–96, 2016, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.04.001.
- [71] H. Hulkko and P. Abrahamsson, “A multiple case study on the impact of pair programming on product quality,” in *Proceedings. 27th International Conference on Software Engineering, 2005. ICSE 2005.*, 2005, pp. 495–504, doi: 10.1109/ICSE.2005.1553595.
- [72] P. Bourque, *Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK Guide)*. 2010.
- [73] RAE, “Inicio | Real Academia Española,” *Real Academia Española*. 2020, Accessed: Jun. 15, 2021. [Online]. Available: <https://www.rae.es/>.
- [74] K. Schwaber, J. Sutherland, and L. G. Definitiva, “La Guía Scrum,” 2020.
- [75] U. de S. de C. Chile, “¿Qué es la percepción? | Departamento de Desarrollo de Personas,” 2014. <http://ddp.usach.cl/que-es-la-percepcion> (accessed Mar. 22, 2021).
- [76] B. A. Kitchenham and S. L. Pfleeger, *Chapter 3 Personal Opinion Surveys - Guide to advanced empirical software engineering*. 2008.
- [77] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, “Systematic Mapping Studies in Software Engineering,” in *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 2008, pp. 68–77, doi: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2227115.2227123>.
- [78] M. Jung, J. Chong, and L. Leifer, “Group Hedonic Balance and Pair Programming

- Performance: Affective Interaction Dynamics as Indicators of Performance,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2012, pp. 829–838, doi: 10.1145/2207676.2208523.
- [79] D. I. K. Sjøberg, “An Empirical Study of WIP in Kanban Teams,” 2018, doi: 10.1145/3239235.3239238.
- [80] S. Dorairaj, J. Noble, and P. Malik, “Understanding Lack of Trust in Distributed Agile Teams: A grounded theory study,” in *16th International Conference on Evaluation Assessment in Software Engineering (EASE 2012)*, 2012, pp. 81–90, doi: 10.1049/ic.2012.0011.
- [81] M. Md Rejab, M. Omar, M. Ahmad, and S. Hassan, *Transition to Agile method without Agile-compliant performance appraisal?*, vol. 2016. 2018.
- [82] K. Melnyk, V. Hlushko, and N. Borysova, “DECISION SUPPORT TECHNOLOGY FOR SPRINT PLANNING,” *Radio Electron. Comput. Sci. Control*, pp. 135–145, May 2020, doi: 10.15588/1607-3274-2020-1-14.
- [83] A. Hernández-López, R. C. Palacios, Á. García-Crespo, and F. Cabezas-Isla, “Software Engineering Productivity: Concepts, Issues and Challenges,” *Int. J. Inf. Technol. Proj. Manag.*, vol. 2, pp. 37–47, 2011.
- [84] D. Lo, N. Nagappan, and T. Zimmermann, “How Practitioners Perceive the Relevance of Software Engineering Research,” in *Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*, 2015, pp. 415–425, doi: 10.1145/2786805.2786809.
- [85] V. C. Storey, J. C. Trujillo, and S. W. Liddle, “Research on conceptual modeling: Themes, topics, and introduction to the special issue,” *Data Knowl. Eng.*, vol. 98, pp. 1–7, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.datak.2015.07.002>.
- [86] A. Gupta, G. Poels, and P. Bera, “Using Conceptual Models in Agile Software Development: A Possible Solution to Requirements Engineering Challenges in Agile Projects,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 119745–119766, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3221428.
- [87] C. M. Zapata Jaramillo, G. L. Giraldo Gómez, and S. Londoño V., “Esquemas preconceptuales ejecutables,” *Av. en Sist. e Informática, ISSN 1909-0056, Vol. 8, Nº. 1, 2011, pág. 2*, vol. 8, no. 1, p. 2, 2011, Accessed: Jan. 02, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3693488&info=resumen&idioma=ENG>.
- [88] C. M. Zapata, B. M. Estrada, and F. Arango, “UN MÉTODO PARA EL REFINAMIENTO INTERACTIVO DEL DIAGRAMA DE CLASES DE UML A METHOD FOR INTERACTIVE REFINEMENT OF UML CLASS DIAGRAM,” *Año*, vol. 74, pp. 253–266, 2007.
- [89] S. Flint, “A Conceptual Model of Software Engineering Research Approaches,” in *2009 Australian Software Engineering Conference*, 2009, pp. 229–236, doi: 10.1109/ASWEC.2009.42.
- [90] G. Canfora and M. Di Penta, “Frontiers of reverse engineering: A conceptual model,” in *2008 Frontiers of Software Maintenance*, 2008, pp. 38–47, doi:

10.1109/FOSM.2008.4659247.

- [91] A. R. da Silva, “Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model,” *Comput. Lang. Syst. Struct.*, vol. 43, pp. 139–155, 2015.
- [92] M. Robeer, G. Lucassen, J. M. E. M. van der Werf, F. Dalpiaz, and S. Brinkkemper, “Automated Extraction of Conceptual Models from User Stories via NLP,” in *2016 IEEE 24th International Requirements Engineering Conference (RE)*, 2016, pp. 196–205, doi: 10.1109/RE.2016.40.
- [93] J. Rumbaugh, I. Jacobson, and G. Booch, *El Lenguaje Unificado de Modelado 2da. Edicion*. 2006.
- [94] C. M. Z. Jaramillo, “Definición de un esquema preconceptual para la obtención automática de esquemas conceptuales de UML,” Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín., 2013.
- [95] J. M. Cueva Lovelle, *Análisis y diseño orientado a objetos*. SERVITEC, 1998.
- [96] F. Berzal, “Relaciones entre clases: Diagramas de clases UML,” *Introd. a la Program. Orientada a Objetos*, vol. 3, pp. 23–33, 2011, Accessed: Jan. 03, 2023. [Online]. Available: <http://bit.ly/2boV02v>.
- [97] “Modelado de datos con UML: Generalización y Especialización.” [http://ayudasdemascosas.blogspot.com/2016/05/modelado-de-datos-con-uml\\_12.html](http://ayudasdemascosas.blogspot.com/2016/05/modelado-de-datos-con-uml_12.html) (accessed Jan. 03, 2023).
- [98] L. Machuca-Villegas, G. P. Gasca-Hurtado, S. M. Puente, L. Marcela, and R. Tamayo, “Factores sociales y humanos que influyen en la productividad del desarrollo de software: Medición de la percepción.”
- [99] L. Machuca-Villegas and G. P. Gasca-Hurtado, “Towards a Social and Human Factor Classification Related to Productivity in Software Development Teams,” *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1071, pp. 36–50, Jan. 2020, doi: 10.1007/978-3-030-33547-2\_4.
- [100] L. Machuca-Villegas, G. P. Gasca-Hurtado, L. M. Restrepo Tamayo, and S. Morillo Puente, “Social and Human Factor Classification of Influence in Productivity in Software Development Teams,” *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 1251 CCIS, pp. 717–729, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-56441-4\_54/COVER.
- [101] A. Hernández González, “IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIO,” *Ing. Ind.*, vol. XXVI, no. 1, pp. 54–59, Jan. 2005, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433558004>.
- [102] S. A. White and D. Miers, *Guía de referencia y modelado BPMN*. 2009.
- [103] IBM, “Acerca de los procesos de negocio - Documentación de IBM.” <https://www.ibm.com/docs/es/b2b-integrator/6.0.0?topic=modeling-about-business-processes> (accessed Jan. 20, 2023).
- [104] OMG, “Business Process Model and Notation (BPMN), Version 2.0,” 2010. <http://www.omg.org/spec/BPMN/20100501> (accessed Jan. 21, 2023).

- [105] J. Sutherland, *SCRUM El arte de hacer el doble de trabajo en la mitad del tiempo*. 2016.
- [106] Digital.ai, “State of Agile Report,” *Annu. Rep. State Agil.*, vol. 13, pp. 1–22, 2022, Accessed: Jan. 18, 2023. [Online]. Available: <https://info.digital.ai/rs/981-LQX-968/images/AR-SA-2022-16th-Annual-State-Of-Agile-Report.pdf>.
- [107] M. L. Scott W. Ambler, “Disciplined Agile Delivery: A Practitioner’s Guide to Agile Software ... - Scott W. Ambler, Mark Lines,” *IBM Press*. 2012, Accessed: Jan. 24, 2023. [Online]. Available: [https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=CwvBEKsCY2gC&oi=fnd&pg=PR11&dq=scott+ambler&ots=lHY60nS6HG&sig=-cnzZoItAkGOGOTCjV-AfLME3eo&redir\\_esc=y#v=onepage&q=scott+ambler&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=CwvBEKsCY2gC&oi=fnd&pg=PR11&dq=scott+ambler&ots=lHY60nS6HG&sig=-cnzZoItAkGOGOTCjV-AfLME3eo&redir_esc=y#v=onepage&q=scott+ambler&f=false).
- [108] M. Choraś *et al.*, “Measuring and Improving Agile Processes in a Small-Size Software Development Company,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 78452–78466, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990117.
- [109] J. J. Zapata Arbeláez *et al.*, “Caracterización de métodos de evaluación de desempeño para equipos de desarrollo de software,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 29, no. 1, pp. 129–140, Mar. 2021, doi: 10.4067/S0718-33052021000100129.
- [110] D. Van Dijk and M. M. Schodl, “Performance Appraisal and Evaluation,” 2015.
- [111] Omg, “Essence-Kernel and Language for Software Engineering Methods,” 2018, Accessed: Aug. 25, 2021. [Online]. Available: <https://www.omg.org/spec/Essence/20150601/Essence.xmi>.
- [112] P. Jain, A. Sharma, and L. Ahuja, “The Impact of Agile Software Development Process on the Quality of Software Product,” in *2018 7th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, 2018, pp. 812–815, doi: 10.1109/ICRITO.2018.8748529.
- [113] L. Machuca-Villegas, G. P. Gasca-Hurtado, S. Morillo Puente, and L. M. Restrepo Tamayo, “An Instrument for Measuring Perception about Social and Human Factors that Influence Software Development Productivity,” *JUCS - J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 27, no. 2, pp. 111–134, Feb. 28AD, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3897/jucs.65102>.
- [114] L. Machuca-Villegas, G. P. Gasca-Hurtado, and M. Muñoz, “Measures related to social and human factors that influence productivity in software development teams,” *Int. J. Inf. Syst. Proj. Manag.*, vol. 9, no. 3, pp. 43–67, 2021, doi: 10.12821/ijispm090303.
- [115] K. M. Bumbary, “Using Velocity, Acceleration, and Jerk to Manage Agile Schedule Risk,” in *2016 International Conference on Information Systems Engineering (ICISE)*, 2016, pp. 73–80, doi: 10.1109/ICISE.2016.21.
- [116] S. Downey and J. Sutherland, “Scrum Metrics for Hyperproductive Teams: How They Fly like Fighter Aircraft,” in *2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2013, pp. 4870–4878, doi: 10.1109/HICSS.2013.471.
- [117] F. Almeida and P. Carneiro, “Performance metrics in scrum software engineering companies,” *Int. J. Agil. Syst. Manag.*, vol. 14, p. 205, Jan. 2021, doi: 10.1504/IJASM.2021.10041601.

- [118] H. Klein and S. Canditt, "Using Opinion Polls to Help Measure Business Impact in Agile Development," in *Proceedings of the 1st International Workshop on Business Impact of Process Improvements*, 2008, pp. 25–32, doi: 10.1145/1370837.1370843.
- [119] E.-M. Ahmed and A. Sidky, "25 percent Ahead of Schedule and just at 'Step 2' of the SAMI," in *2009 Agile Conference*, 2009, pp. 162–169, doi: 10.1109/AGILE.2009.63.
- [120] C. Ertaban, E. Sarikaya, and S. Bagriyanik, "Agile Performance Indicators for Team Performance Evaluation in a Corporate Environment," 2018, doi: 10.1145/3234152.3234156.
- [121] A. O. Gadelsied, T. M. M. Elhassan, W. M. Mohamed, and H. M. Abushama, "Assessment method for Scrum culture within the Development team," in *2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICCCEEE49695.2021.9429608.
- [122] N. Abbas, A. M. Gravell, and G. B. Wills, "The Impact of Organization, Project and Governance Variables on Software Quality and Project Success," in *2010 Agile Conference*, 2010, pp. 77–86, doi: 10.1109/AGILE.2010.16.
- [123] L. Brezo\vcnik and C. Majer, "Product Evaluation Through Contractor and In-House Metrics," 2016.
- [124] Y. Dubinsky and O. Hazzan, "The role of a project-based capstone course," in *Proceedings. 27th International Conference on Software Engineering, 2005. ICSE 2005.*, 2005, pp. 645–646, doi: 10.1109/ICSE.2005.1553628.
- [125] I. Signoretti, S. Marczak, L. Salerno, A. d. Lara, and R. Bastos, "Boosting Agile by Using User-Centered Design and Lean Startup: A Case Study of the Adoption of the Combined Approach in Software Development," in *2019 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ESEM.2019.8870154.
- [126] B. Martens and J. Franke, "Identifying Agile Roles in Software Engineering Projects using Repository and Work-Tracking Data," in *2022 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*, 2022, pp. 83–88, doi: 10.1109/ICoDSE56892.2022.9971901.
- [127] D. Wahyudin, M. Heindl, B. Eckhard, A. Schatten, and S. Biffel, "In-Time Role-Specific Notification as Formal Means to Balance Agile Practices in Global Software Development Settings," in *Balancing Agility and Formalism in Software Engineering*, 2008, pp. 208–222.
- [128] S. D. Vishnubhotla, E. Mendes, and L. Lundberg, "Designing a Capability-Centric Web Tool to Support Agile Team Composition and Task Allocation: A Work in Progress," in *2018 IEEE/ACM 11th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE)*, 2018, pp. 41–44.
- [129] A. Agarwal, N. K. Garg, and A. Jain, "Quality assurance for Product development using Agile," in *2014 International Conference on Reliability Optimization and Information Technology (ICROIT)*, 2014, pp. 44–47, doi: 10.1109/ICROIT.2014.6798281.
- [130] S. Čelar, M. Turić, and L. Vicković, "Method for personal capability assessment in agile

- teams using personal points,” in *2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, 2014, pp. 1134–1137, doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034607.
- [131] E. Mendes, D. Viana, S. D. Vishnubhotla, and L. Lundberg, “Realising Individual and Team Capability in Agile Software Development: A Qualitative Investigation,” in *2018 44th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, 2018, pp. 183–190, doi: 10.1109/SEAA.2018.00037.
- [132] M. Silva *et al.*, “A Comparative Analysis of Agile Teamwork Quality Models,” in *2021 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, 2021, pp. 1–6, doi: 10.23919/SoftCOM52868.2021.9559062.
- [133] A. Poth, M. Kottke, and A. Riel, “Evaluation of Agile Team Work Quality,” in *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming -- Workshops*, 2020, pp. 101–110.
- [134] A. Poth, M. Kottke, and A. Riel, “Agile Team Work Quality in the Context of Agile Transformations -- A Case Study in Large-Scaling Environments,” in *Systems, Software and Services Process Improvement*, 2020, pp. 232–243.
- [135] A. Freire, M. Perkusich, R. Saraiva, H. Almeida, and A. Perkusich, “A Bayesian networks-based approach to assess and improve the teamwork quality of agile teams,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 100, pp. 119–132, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2018.04.004>.
- [136] M. Silva, A. Freire, M. Perkusich, K. Gorgônio, H. Almeida, and A. Perkusich, “On the Influence of Different Perspectives on Evaluating the Teamwork Quality in the Context of Agile Software Development,” in *Proceedings of the XXXIV Brazilian Symposium on Software Engineering*, 2020, pp. 1–10, doi: 10.1145/3422392.3422397.
- [137] S. Coyle and J. Barata, *Socially-constructed metrics for Agile Quality: An Action Research Study*. 2016.
- [138] A. Alhubaishy and L. Benedicenti, “Affect and Affective Trust in Agile Requirements Engineering,” in *2018 1st International Workshop on Affective Computing for Requirements Engineering (AffectRE)*, 2018, pp. 9–12, doi: 10.1109/AffectRE.2018.00007.
- [139] W. Alsaqaf, M. Daneva, and R. Wieringa, “Agile Quality Requirements Engineering Challenges: First Results from a Case Study,” in *2017 ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*, 2017, pp. 454–459, doi: 10.1109/ESEM.2017.61.
- [140] W. M. Farid and F. J. Mitropoulos, “NORMATIC: A visual tool for modeling Non-Functional Requirements in agile processes,” in *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon*, 2012, pp. 1–8, doi: 10.1109/SECon.2012.6196989.
- [141] B. Kumar, U. K. Tiwari, D. C. Dobhal, and H. S. Negi, “User Story Clustering using K-Means Algorithm in Agile Requirement Engineering,” in *2022 International Conference on Computational Intelligence and Sustainable Engineering Solutions (CISES)*, 2022, pp. 1–5, doi: 10.1109/CISES54857.2022.9844390.
- [142] M. Oriol *et al.*, “Data-driven and tool-supported elicitation of quality requirements in agile companies,” *Softw. Qual. J.*, vol. 28, no. 3, pp. 931–963, 2020, doi: 10.1007/s11219-020-



09509-y.

- [143] I. Wentzlaff, “Establishing a Requirements Baseline by Functional Size Measurement Patterns,” *CEUR Jt. Proc. REFSQ 2017 Co-Located Events 1st Int. Work. Requir. Prioritization Enactm.*, vol. Vol-1796, Feb. 2017.
- [144] S. Vazifeh-Noshafagh, V. Hajipour, S. Jalali, D. Di Caprio, and F. J. Santos-Arteaga, “Maturing the Scrum Framework for Software Projects Portfolio Management: A Case Study-Oriented Methodology,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 123283–123300, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3224447.
- [145] L. Fitzpatrick, “The Role of Emotional Intelligence in Agile Project Management,” in *2022 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, 2022, pp. 1–9, doi: 10.23919/PICMET53225.2022.9882795.
- [146] F. Kortum, J. Klünder, O. Karras, W. Brunotte, and K. Schneider, “Which Information Help agile Teams the Most? An Experience Report on the Problems and Needs,” in *2020 46th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, 2020, pp. 306–313, doi: 10.1109/SEAA51224.2020.00058.
- [147] L. Gren, “Learning More from Crossing Levels: Investigating Agility at Three Levels of the Organization,” in *2017 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2017, pp. 1035–1038, doi: 10.1109/CSCI.2017.179.
- [148] E. A. Arteaga Castillo, “Factores y estrategias basadas en software libre que propician el aprendizaje organizacional en el área de tecnología de la Universidad de Nariño,” 2018.
- [149] C. Matthies, “Agile Process Improvement in Retrospectives,” in *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion)*, 2019, pp. 150–152, doi: 10.1109/ICSE-Companion.2019.00063.
- [150] Bizagi, “Bizagi - Low-Code Automation Leader.” <https://www.bizagi.com/en> (accessed Jan. 21, 2023).
- [151] S.-M. Guerrero-Calvache and G. Hernández, “Conceptions and Perceptions of Software Industry Professionals on Team Productivity in Agile Software Development: A Comparative Study. *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 30, no. 58, p. e13817, Dec. 2021. <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n58.2021.13817>
- [152] M. Guerrero-Calvache and G. Hernández, “Team Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study,” in *International Conference on Applied Informatics*, pp. 455–471, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-19647-8\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-031-19647-8_32)
- [153] M. Guerrero-Calvache y G. Hernández, “Un estudio exploratorio de las percepciones de productividad en equipos de software ágil», *Tecnológicas.*, vol. 26, n.º 56, p. e2625, May 2023. <https://doi.org/10.22430/22565337.2625>