

UN MARCO DE MÉTRICAS SMART PARA LA MEJORA DE LOS PLANES DE GESTIÓN DE DATOS

A SMART METRICS FRAMEWORK FOR IMPROVING DATA MANAGEMENT PLANS

Federico GRASSO TORO

Universidad de Berna, Suiza

Federico.Grasso@unibe.ch

 <https://orcid.org/0000-0002-9041-0868>

RESUMEN: Este artículo propone un marco innovador para mejorar los planes de gestión de datos (PGD), transformándolos en herramientas integrales para administrar diversos activos intelectuales más allá de los datos de investigación tradicionales, incluyendo software y modelos. El marco integra cuatro metodologías clave: métricas SMART (Específicas, Medibles, Alcanzables, Relevantes, con Plazos Determinados) para el establecimiento y el seguimiento claro de objetivos; la gestión del ciclo de vida de los datos de investigación (RDLC) para un enfoque holístico desde la concepción hasta la reutilización de los datos; los principios FAIR (Encontrables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables) para maximizar el valor y el impacto de los datos; y el desarrollo dirigido por el comportamiento (BDD) para alinear las funcionalidades de los PGD con las necesidades de los usuarios y mejorar la comunicación. Este marco integral busca mejorar la investigación optimizando la planificación, la ejecución y la evaluación, promoviendo la reproducibilidad y la transparencia. Facilita la creación de PGD claros y automatizados, aplicándose actualmente en ensayos clínicos, ciencias ambientales y humanidades digitales. Se espera que mejore la comunicación entre máquinas, automatice tareas y aumente la eficiencia y la transparencia en la investigación.

PALABRAS CLAVE: planes de gestión de datos; métricas SMART; ciclo de vida de los datos de investigación; principios FAIR; desarrollo dirigido por el comportamiento; sintaxis Gherkin.

ABSTRACT: This paper proposes an innovative framework to enhance Data Management Plans (DMPs), transforming them into comprehensive tools for managing diverse intellectual assets beyond traditional research data, including software and models. The framework integrates four key methodologies: SMART metrics (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound) for clear objective setting and monitoring; Research Data Life Cycle (RDLC) management for a holistic approach from data conception to reuse; FAIR principles

(Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) to maximize data value and impact; and Behavior-Driven Development (BDD) to align DMP functionalities with user needs and improve communication. This holistic framework optimizes research planning, execution, and evaluation for reproducibility and transparency. It creates machine-readable, actionable Data Management Plans (DMPs) through clear scenarios and automated validation. Initial applications in clinical trials, environmental sciences, and digital humanities demonstrate its potential to improve data quality, streamline processes, and enhance collaboration. The framework aims to enhance machine-to-machine communication, automate DMP tasks, and increase research efficiency and transparency.

KEYWORDS: data management plans; SMART metrics; research data life cycle; FAIR principles; behavior-driven development; Gherkin syntax.

1. INTRODUCCIÓN

En el panorama científico actual, los planes de gestión de datos han trascendido su función tradicional de recopilar, almacenar y compartir datos (Dataversity, s. f.). Ahora se pueden visualizar como herramientas integrales para gestionar una gama más amplia de activos intelectuales, incluyendo software, modelos, datos y otros resultados de investigación.

1.1. HACIA UN NUEVO MARCO PARA LOS PLANES DE GESTIÓN DE DATOS

La evolución de la ciencia abierta exige un marco más robusto y transparente que facilite la comunicación entre investigadores, instituciones académicas y entidades de financiación. Este artículo propone un marco innovador que integra (1) las métricas SMART (de sus siglas en inglés, traducible a Específico, Medible, Alcanzable, Relevante y con Plazos Determinados de Tiempo); (2) la gestión del ciclo de vida de los datos de investigación (RDLC, de sus siglas en inglés); (3) los principios FAIR (de la siglas en inglés, traducible a Encontrable, Accesible, Interoperable y Reutilizable), y (4) el desarrollo dirigido por el comportamiento (BDD, de sus siglas en inglés) para mejorar el manejo de los PGD. Este marco holístico no solamente busca optimizar la planificación, ejecución y evaluación de las actividades de investigación, sino también promover la reproducibilidad y la transparencia en la ciencia.

1.2. HACIA UN MANEJO EXTENDIDO DE LOS PLANES DE GESTIÓN DE DATOS

La dinámica y creciente complejidad de la investigación científica contemporánea demanda imperativamente la adopción de estrategias de gestión de datos que trascienden los enfoques tradicionales (Burnette *et al.*, 2016). La proliferación de datos, su diversidad tipológica y la necesidad de colaboración a gran escala entre actores dispares –investigadores de diversas disciplinas, instituciones académicas con diferentes enfoques y entidades de financiación con

requisitos específicos— configuran un escenario donde la eficiencia, la transparencia y la reproducibilidad se erigen como pilares fundamentales de la ciencia actual.

En este contexto, la mera planificación de la gestión de datos a través de los Planes de Gestión de Datos (PGD) se revela como un eslabón crucial, pero intrínsecamente limitado si no se sustenta en un andamiaje metodológico robusto y adaptable a activos intelectuales que van más allá de datos de investigación. Este marco se concibe como una amalgama sinérgica de metodologías y principios de probada eficacia en diversos dominios, integrados específicamente para potenciar la planificación, la ejecución, la evaluación y, en última instancia, el impacto de la investigación científica (Grasso Toro, 2024). Los componentes centrales son:

1. La integración de métricas SMART: La definición de objetivos de investigación y la planificación de la gestión de datos deben regirse por los criterios SMART [4] (Específico, Medible, Alcanzable, Relevante y con Plazos Determinados de Tiempo). Esta integración asegura que cada aspecto del PGD esté claramente definido, pueda ser monitorizado a través de indicadores concretos, sea realista en función de los recursos disponibles y las capacidades del equipo, contribuya de manera significativa a los objetivos generales de la investigación y esté delimitado temporalmente. La aplicación sistemática de métricas SMART a la gestión de datos facilita la evaluación del progreso, la identificación temprana de posibles desviaciones y la toma de decisiones informadas para la optimización del proceso investigativo.
2. La gestión del ciclo de vida de los datos de investigación (RDLC): Un enfoque integral de la gestión de datos requiere una perspectiva que abarque la totalidad del ciclo de vida de los datos, desde su concepción y recopilación hasta su preservación a largo plazo y potencial reutilización. El RDLC proporciona una estructura para identificar las diferentes etapas por las que transitan los datos de investigación —planificación, captura, procesamiento, análisis, preservación y reutilización— y para definir las acciones y las responsabilidades correspondientes en cada una de ellas. La adopción consciente del RDLC en la elaboración de los PGD garantiza una visión holística de la gestión de datos, anticipando las necesidades en cada fase y promoviendo prácticas consistentes y eficientes.
3. La adherencia a los principios FAIR: Los principios FAIR (Encontrable, Accesible, Interoperable y Reutilizable) constituyen un conjunto de directrices esenciales para maximizar el valor y el impacto de los datos de investigación. La integración de estos principios en el diseño y la implementación de los PGD asegura que los datos generados sean fácilmente descubiertos por otros investigadores (Encontrable), que puedan ser obtenidos y procesados bajo condiciones claras (Accesible), que puedan combinarse, compararse e intercambiarse con otros conjuntos de datos (Interoperable) y que puedan ser utilizados para futuras investigaciones con la atribución adecuada (Reutilizable). La adopción de los principios FAIR fomenta la ciencia abierta, la colaboración y la acumulación valiosa de conocimiento científico.
4. La implementación del desarrollo dirigido por el comportamiento (BDD): El desarrollo dirigido por el comportamiento (BDD) es una metodología de desarrollo de software que se centra en la especificación del comportamiento del sistema desde la

perspectiva del usuario. Para la gestión de PGD, la adaptación de los principios del BDD puede aportar una valiosa perspectiva en la definición de los requisitos y las expectativas en relación con la gestión de datos. Al describir el comportamiento deseado del sistema de gestión de datos en términos de escenarios concretos y resultados observables, se facilita la comunicación entre los diferentes actores involucrados (i. e., investigadores, gestores de datos, responsables de infraestructura y entidades de financiación) y se asegura que el PGD resultante responda de manera efectiva a las necesidades de las actividades de investigación. El BDD ayuda a traducir estas con mayor claridad a procesos de gestión de datos, determinando los roles y responsabilidades, además de los criterios de éxito para su evaluación formal.

La convergencia de estas cuatro dimensiones –métricas SMART, gestión del ciclo de vida de los datos, principios FAIR y desarrollo dirigido por el comportamiento– da como resultado un marco holístico para la gestión avanzada de los PGD. Este marco no se limita a ser una herramienta de planificación estática, sino que se concibe como un enfoque dinámico y adaptable que guía la ejecución de la investigación, facilita la evaluación continua del proceso de gestión de datos y promueve una cultura de transparencia y reproducibilidad en la ciencia.

Al adoptar este marco integral, las instituciones académicas, los investigadores y las entidades de financiación pueden optimizar sus inversiones en investigación, maximizar el impacto de los descubrimientos científicos para avanzar hacia un ecosistema de investigación más abierto, colaborativo y eficiente.

2. METODOLOGÍA

2.1. MÉTRICAS SMART: UN PILAR FUNDAMENTAL PARA LA PLANIFICACIÓN Y LA EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las métricas SMART (Corportate Finance Institute, s. f.) proporcionan una base sólida para definir objetivos de investigación claros, medibles y alcanzables. Al aplicar este enfoque a los PGD, se facilita la alineación de los paquetes de trabajo y los entregables con los objetivos generales del proyecto.

Esto permite una mejor gestión de los recursos y una evaluación más precisa del progreso de la investigación. La integración de las métricas SMART en los PGD puede ofrecer la siguiente serie de ventajas:

- Claridad y precisión: Se definen objetivos específicos y medibles, evitando ambigüedades y facilitando la evaluación.
- Alineación estratégica: Se asegura que los esfuerzos de investigación estén alineados con los objetivos generales del proyecto.
- Evaluación objetiva: Se establecen criterios medibles para evaluar progreso y éxito.
- Rendición de cuentas: Se promueve la transparencia y la responsabilidad en el uso de los recursos.

2.1.1. *Ventajas de un enfoque estructurado en la investigación*

Un enfoque estructurado en la investigación se fundamenta en la definición clara y precisa de los objetivos que se persiguen. Esto no solo evita confusiones y desviaciones durante el proceso investigativo, sino que también facilita enormemente la posterior evaluación de los resultados obtenidos.

Al establecer objetivos específicos y, crucialmente, medibles, se crea un marco de referencia tangible contra el cual se puede contrastar el progreso y determinar el nivel de éxito alcanzado. La ausencia de ambigüedades en la formulación de los objetivos es, por tanto, un pilar fundamental de este enfoque.

En segundo lugar, un enfoque estructurado garantiza una sólida alineación estratégica entre las actividades de investigación y los objetivos generales del proyecto en el que se enmarcan.

Esta coherencia es vital para asegurar que los recursos invertidos en la investigación contribuyan de manera efectiva a la consecución de las metas superiores. Al mantener los esfuerzos de investigación intrínsecamente ligados a la estrategia global, se maximiza su impacto y se evita la dispersión de recursos en líneas de investigación periféricas o irrelevantes para el propósito principal del proyecto.

La evaluación objetiva constituye otro beneficio esencial de este enfoque. Al establecer criterios de evaluación que son inherentemente medibles, se facilita un análisis imparcial y basado en datos concretos del progreso realizado y del éxito final de la investigación.

Estos criterios predefinidos permiten superar las valoraciones subjetivas y proporcionan una base sólida para la toma de decisiones informadas a lo largo del ciclo de vida del proyecto. La capacidad de medir objetivamente los avances es fundamental para identificar fortalezas, debilidades y áreas de mejora.

Finalmente, un enfoque estructurado en la investigación fomenta de manera inherente la rendición de cuentas. La definición clara de objetivos, la alineación estratégica con las metas del proyecto y la implementación de criterios de evaluación medibles contribuyen a una mayor transparencia en el uso de los recursos asignados a la investigación.

Asimismo, promueven la responsabilidad individual y colectiva en la ejecución de las tareas y en la consecución de los resultados esperados. Esta transparencia y responsabilidad son cruciales para la gestión eficiente de proyectos de investigación y para la optimización del uso de los recursos disponibles.

2.2. GESTIÓN DEL CICLO DE VIDA DE LOS DATOS DE INVESTIGACIÓN (RDLC): PRESERVANDO LA INTEGRIDAD Y EL VALOR DE LOS DATOS

El RDLC proporciona un enfoque estructurado para gestionar los datos de investigación a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su creación hasta su disposición final (Schmitt *et al.*, s. f.).

Al integrar los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016) en cada etapa del RDLC, se garantiza que los datos sean fáciles de encontrar, acceder, interoperar y reutilizar, ofreciendo los beneficios de:

- Preservación de la calidad de los datos: Se implementan medidas para asegurar la integridad y la calidad de los datos a lo largo del tiempo.
- Mejora de la accesibilidad: Se facilita el acceso a los datos por parte de otros investigadores y la comunidad en general.
- Fomento de la reutilización: Se promueve la reutilización de los datos para nuevas investigaciones y aplicaciones.
- Cumplimiento de las normativas: Se facilita el cumplimiento de las normativas y políticas de gestión de datos.

2.2.1. Beneficios de una gestión responsable de datos de investigación

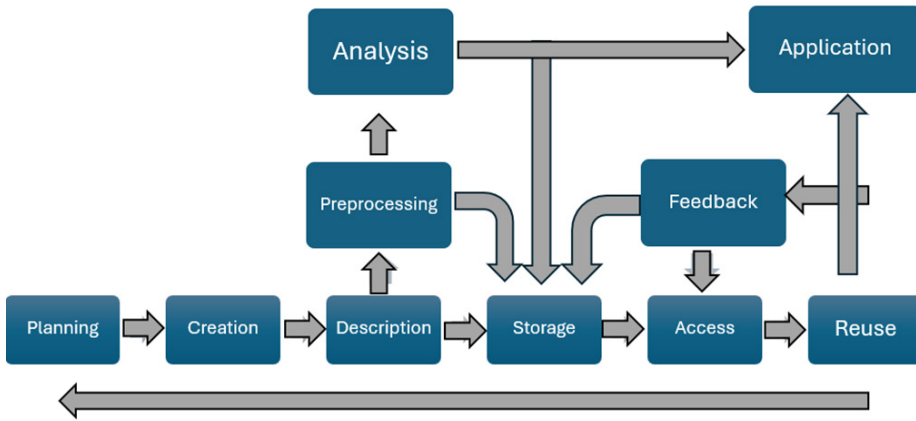
Una gestión responsable de los datos de investigación aporta múltiples beneficios cruciales para la comunidad científica y la sociedad en general:

- *Preservación a largo plazo de la calidad de los datos*: Se establecen y ejecutan protocolos meticulosos para salvaguardar la exactitud, la coherencia y la fiabilidad de los datos durante todo su ciclo de vida. Esto incluye la implementación de técnicas de documentación exhaustivas, formatos de archivo duraderos, validación de datos y estrategias de almacenamiento seguro para prevenir la corrupción o la pérdida de información valiosa con el paso del tiempo. La preservación de la calidad garantiza que las conclusiones de la investigación sigan siendo válidas y puedan ser verificadas en el futuro.
- *Optimización de la accesibilidad para la comunidad investigadora y el público*: Se desarrollan e implementan mecanismos y plataformas que simplifican y amplían el acceso a los conjuntos de datos generados por la investigación. Esto implica la utilización de metadatos descriptivos y estandarizados, la creación de repositorios de datos en línea de fácil navegación, la aplicación de licencias de uso claras y la adopción de estándares de interoperabilidad. Un acceso facilitado promueve la colaboración científica, evita la duplicación de esfuerzos y permite que un espectro más amplio de investigadores y el público interesado puedan analizar y utilizar los datos para avanzar en el conocimiento y la innovación.
- *Impulso a la reutilización de datos para nuevas investigaciones y aplicaciones innovadoras*: Se fomenta activamente la exploración y el empleo de datos existentes para abordar nuevas preguntas de investigación o para desarrollar aplicaciones novedosas en diversos campos. Esto se logra mediante la promoción de una cultura de intercambio de datos; la provisión de herramientas y recursos para facilitar el descubrimiento y la comprensión de los datos, y el reconocimiento del valor de la reutilización como un motor de eficiencia y progreso científico. La reutilización maximiza el retorno de la inversión en investigación y acelera el ritmo de los descubrimientos.
- *Facilitación del cumplimiento de normativas y políticas de gestión de datos*: Se implementan estrategias y procedimientos que aseguran la adhesión a las directrices éticas, legales y regulatorias relacionadas con la recopilación, el almacenamiento, el uso y la

difusión de datos de investigación. Esto incluye la consideración de aspectos como la protección de la privacidad, la confidencialidad de los datos sensibles, los derechos de propiedad intelectual y las políticas institucionales o de los organismos financiadores. Un enfoque proactivo en el cumplimiento normativo genera confianza en la integridad de la investigación y evita posibles sanciones o problemas legales.

La Figura 1 presenta el ciclo de vida de los datos de investigación, pensando su reutilización como objetivo adicional a su aplicación inicial.

Figura 1. Gestión del ciclo de vida de los datos de investigación (RDLC) (Schmitt *et al.*, s. f.)



2.3. PRINCIPIOS FAIR: FACILITANDO EL DESCUBRIMIENTO, EL ACCESO Y LA REUTILIZACIÓN DE LOS DATOS

Los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016) son esenciales para maximizar el valor de los datos de investigación. Al aplicar estos principios, se asegura que los datos sean, descritos en sus traducciones al español, fáciles de:

- Encontrar: Fáciles de encontrar por parte de humanos y máquinas.
- Acceder: Accesibles de forma sencilla y con las restricciones necesarias.
- Interoperar: Compatibles con otros sistemas y conjuntos de datos.
- Reutilizar: Adecuadamente documentados para facilitar su reutilización.

La implementación de los principios FAIR no solo beneficia a los investigadores, sino también a las instituciones académicas, las entidades financiadoras y la sociedad en general. La implementación de los principios FAIR (es decir, que los datos sean Encontrables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables) en la investigación no solo beneficia a los investigadores individuales al facilitar la gestión y el intercambio de datos, sino que también tiene un impacto positivo más amplio. La adopción de los principios FAIR representa una estrategia de

gran alcance con efectos positivos que trascienden la labor individual de los investigadores, extendiéndose de manera significativa a las instituciones académicas en su conjunto, a las organizaciones que proporcionan el soporte financiero para la investigación y, en última instancia, a la sociedad en su totalidad. La internalización y la puesta en práctica de estos principios fundamentales —que dictaminan que los datos generados en el curso de la investigación deben ser Encontrables mediante metadatos ricos y persistentes, Accesibles bajo condiciones claras y protocolos estandarizados, Interoperables a través de formatos comunes y vocabularios controlados y Reutilizables con licencias explícitas y documentación detallada sobre su procedencia y uso— no se limitan a simplificar la administración y el intercambio de la información científica para los investigadores. Su influencia se proyecta en una mejora sustancial de la eficiencia y la transparencia del proceso científico en general.

Para las instituciones académicas, la adopción de los principios FAIR fomenta una cultura de ciencia abierta y colaboración, incrementando la visibilidad y el impacto de su investigación. Al facilitar el descubrimiento y la reutilización de los datos producidos por sus investigadores, las instituciones pueden optimizar la inversión en investigación, evitar la duplicación de esfuerzos y promover la innovación a partir de trabajos previos.

Asimismo, la gestión FAIR de los datos fortalece la reputación de la institución al demostrar un compromiso con las mejores prácticas en la investigación y la transparencia en la difusión de sus resultados.

Las entidades financiadoras, por su parte, se benefician de la implementación de los principios FAIR al asegurar un mayor retorno de su inversión. La disponibilidad y la reutilización de los datos financiados permiten maximizar el impacto de la investigación, facilitando la validación de resultados, la generación de nuevas hipótesis y el avance del conocimiento en diversas áreas. Además, la transparencia inherente a los datos FAIR puede mejorar la rendición de cuentas y la evaluación del impacto de los proyectos financiados.

Finalmente, la sociedad en general se ve favorecida por la adopción de los principios FAIR a través de un acceso más amplio y eficiente al conocimiento científico. La posibilidad de encontrar, acceder, interoperar y reutilizar datos de investigación facilita la innovación; la toma de decisiones basada en evidencia, y el desarrollo de soluciones a los desafíos sociales, económicos y ambientales. En última instancia, la ciencia abierta y los datos FAIR contribuyen a una sociedad más informada, participativa y capaz de abordar los retos del futuro.

2.4. DESARROLLO DIRIGIDO POR EL COMPORTAMIENTO (BDD): CERRANDO LA BRECHA HUMANOS-MÁQUINAS

El BDD es una metodología que facilita la creación y la evaluación de escenarios de investigación, asegurando que las métricas SMART sean claras, accionables y comprobables.

Al utilizar un lenguaje natural y una sintaxis estructurada (llamada Gherkin), el BDD promueve la colaboración entre investigadores, gestores de datos y otros actores involucrados en el proceso de investigación.

El BDD ofrece las siguientes ventajas:

- **Mejora de la comunicación:** Se facilita la comunicación entre los diferentes actores involucrados en la investigación.
- **Claridad y precisión:** Se definen escenarios de investigación claros y precisos, evitando ambigüedades.
- **Validación continua:** Se promueve la validación continua de las métricas SMART a través de pruebas automatizadas.
- **Trazabilidad y documentación:** Se facilita el seguimiento de los cambios y la documentación del proceso de investigación.

2.4.1. *Beneficios de la metodología propuesta*

La implementación de la metodología propuesta para la gestión de coloquios de investigación aporta una serie de ventajas significativas que impactan positivamente en el desarrollo y la calidad del proceso investigativo:

- *Mejora sustancial de la comunicación:* Se establece un marco que facilita y estructura la comunicación entre todos los actores involucrados en la investigación, incluyendo investigadores principales, colaboradores, mentores y revisores. Esto se traduce en un flujo de información más eficiente, la reducción de malentendidos y una mayor colaboración en la resolución de desafíos. La comunicación clara y abierta fomenta un ambiente de trabajo más productivo y cohesivo.
- *Establecimiento de claridad y precisión en los escenarios de investigación:* La metodología promueve la definición de escenarios de investigación con un alto grado de claridad y precisión. Esto implica la delimitación exhaustiva de los objetivos, el alcance, las preguntas de investigación y la metodología a seguir. Al evitar ambigüedades desde el inicio, se minimizan las interpretaciones erróneas y se asegura que todos los participantes compartan una comprensión común del proyecto, lo que contribuye a una ejecución más enfocada y eficiente.
- *Fomento de la validación continua mediante pruebas automatizadas:* Un aspecto crucial de la metodología es la integración de la validación continua de las métricas SMART (Específicas, Medibles, Alcanzables, Relevantes y con Plazo definido) a través de la implementación de pruebas automatizadas. Esta práctica asegura que el progreso de la investigación se evalúe de manera objetiva y regular, permitiendo la detección temprana de posibles desviaciones o problemas. La automatización de las pruebas ahorra tiempo y recursos, al tiempo que aumenta la fiabilidad de la validación.
- *Optimización de la trazabilidad y la documentación del proceso de investigación:* La metodología facilita un seguimiento detallado de todos los cambios, decisiones y resultados que surgen a lo largo del proceso de investigación. Asimismo, promueve la documentación exhaustiva de cada etapa, desde la concepción inicial hasta la presentación de los resultados. Esta trazabilidad y esta documentación detallada no solo facilitan la revisión y el análisis del progreso, sino que también son fundamentales para la

replicabilidad de la investigación, la transferencia de conocimiento y el cumplimiento de los estándares académicos y científicos.

2.5. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MARCO: UN EJEMPLO DE IMPLEMENTACIÓN

Para ilustrar la aplicación práctica del marco, se presenta un ejemplo de cómo el BDD puede utilizarse para crear métricas SMART para PGD «legibles por máquina» y potencialmente «accionables por máquina» en una futura instancia.

El proceso se divide en cuatro pasos:

- Descubrir y redactar escenarios de investigación claros: Se identifican los comportamientos clave de los científicos y se traducen en escenarios concretos y detallados utilizando un lenguaje claro y sin ambigüedades (mediante sintaxis Gherkin).
- Formular métricas a partir de estos escenarios: Se definen resultados medibles relativos a las métricas SMART para cada escenario con el fin de evaluar objetivamente el éxito por evaluar.
- Automatizar pruebas para escenarios: Se transforman los escenarios en pruebas automatizadas que permiten la validación continua del sistema en relación con los objetivos definidos e hitos.
- Supervisar y repetir las descripciones de escenarios: Se realiza un seguimiento continuo de la efectividad de los escenarios a través de las métricas recopiladas, refinando y actualizando los escenarios en función de las necesidades cambiantes y el análisis del rendimiento detallado por las actualizaciones del PGD hechas por el investigador principal.

2.6. METODOLOGÍA DETALLADA PARA LA DEFINICIÓN Y LA VALIDACIÓN DE ESCENARIOS DE INVESTIGACIÓN

La presente metodología se centra en la definición, la formalización, la automatización y el seguimiento continuo de escenarios de investigación claros y medibles, cruciales para el avance y la validación de proyectos científicos. Cada etapa se describe en detalle a continuación.

2.6.1. *Descubrimiento y redacción de escenarios de investigación claros*

El punto de partida radica en la identificación exhaustiva de los comportamientos y las interacciones clave que los científicos llevan a cabo dentro del contexto de su investigación. Estos comportamientos, a menudo implícitos o tácitos, deben ser desglosados y traducidos a escenarios concretos y detallados. Para asegurar la claridad y la eliminación de cualquier ambigüedad, se adopta la sintaxis Gherkin, un lenguaje de especificación basado en el comportamiento (Behavior-Driven Development - BDD).

La sintaxis Gherkin sigue una estructura lógica y fácil de comprender, compuesta por las siguientes palabras clave:

- *Característica (Feature)*: Describe la funcionalidad de alto nivel que se está especificando.
- *Escenario (Scenario)*: Ilustra un ejemplo específico de cómo se utiliza la funcionalidad.
- *Dado (Given)*: Establece el contexto inicial o las precondiciones antes de la acción.
- *Cuando (When)*: Describe la acción o el evento principal que ocurre.
- *Entonces (Then)*: Define el resultado esperado o las postcondiciones después de la acción.
- *Y (And), Pero (But)*: Se utilizan para añadir condiciones o resultados adicionales dentro de un mismo paso (Dado, Cuando, Entonces).

La aplicación rigurosa de esta sintaxis garantiza que cada escenario sea inequívoco y sirva como una base sólida para las etapas posteriores. Al describir los escenarios con un lenguaje natural, pero estructurado, se facilita la comunicación y la comprensión entre todos los miembros del equipo de investigación, independientemente de su nivel de especialización técnica.

2.6.2. Ejemplo de un escenario redactado con sintaxis Gherkin

- + *Característica*: Validación de la hipótesis sobre la influencia de la variable A en la variable B.
- + *Escenario*: Incremento significativo de la variable A resulta en un aumento medible de la variable B.
- + *Dado que* la variable A se establece en un valor inicial de 'X' y la variable B se mide inicialmente como 'Y'.
- + *Cuando* la variable A se incrementa en un 'Z' por ciento;
- + *Entonces* la variable B debería aumentar en al menos un 'W' por ciento.

2.7. FORMULACIÓN DE MÉTRICAS A PARTIR DE ESTOS ESCENARIOS

Una vez que los escenarios de investigación han sido definidos con claridad, el siguiente paso crucial consiste en formular métricas objetivas y medibles que permitan evaluar el éxito de cada escenario.

Estas métricas deben adherirse a los principios SMART:

- *Específicas (Specific)*: La métrica debe estar claramente definida y enfocada en un aspecto particular del escenario.
- *Medibles (Measurable)*: Debe ser posible cuantificar la métrica utilizando datos concretos.
- *Alcanzables (Achievable)*: La meta definida por la métrica debe ser realista dentro del contexto de la investigación.
- *Relevantes (Relevant)*: La métrica debe estar directamente relacionada con el objetivo del escenario y la pregunta de investigación general.

- *Temporales (Time-bound)*: Aunque no siempre aplicable directamente a la definición de la métrica en sí, el marco de evaluación de la métrica debe estar definido en el tiempo.

Para cada escenario identificado, se deben definir uno o varios resultados medibles que permitan determinar si el comportamiento esperado se ha cumplido. Estas métricas proporcionan una base objetiva para evaluar el progreso y el éxito de la investigación en relación con los objetivos establecidos.

2.7.1. *Ejemplo de métricas para el escenario anterior*

- M1: Porcentaje de aumento de B después del incremento de A.
- M2: Nivel de significancia estadística (p-valor) de la correlación entre el incremento de A y el aumento de B.

2.7.2. *Automatización de pruebas para escenarios*

La formalización de los escenarios mediante la sintaxis Gherkin facilita enormemente su transformación en pruebas automatizadas. Estas pruebas se ejecutan de forma continua, lo que permite una validación temprana y frecuente del sistema o del modelo de investigación en relación con los objetivos e hitos definidos.

La automatización de pruebas ofrece múltiples beneficios:

- *Validación continua*: Permite detectar problemas o desviaciones de los resultados esperados de manera temprana en el ciclo de investigación.
- *Eficiencia*: Reduce la necesidad de pruebas manuales repetitivas, liberando tiempo y recursos para otras actividades de investigación.
- *Consistencia*: Garantiza que las pruebas se ejecuten siempre de la misma manera, eliminando la variabilidad asociada a las pruebas manuales.
- *Cobertura*: Permite validar un amplio rango de escenarios de manera exhaustiva.
- *Documentación viva*: Las pruebas automatizadas sirven como documentación ejecutable de los comportamientos esperados del sistema o modelo.

La implementación de estas pruebas automatizadas requiere el uso de herramientas y marcos de trabajo específicos que puedan interpretar la sintaxis Gherkin y ejecutar las acciones y las verificaciones correspondientes.

2.7.3. *Supervisión y repetición de las descripciones de escenarios*

La etapa final y continua de esta metodología implica la supervisión constante de la efectividad de los escenarios definidos. Esto se realiza mediante el análisis de las métricas recopiladas durante la ejecución de las pruebas automatizadas y otras actividades de investigación. El

investigador principal, a través de las actualizaciones del Plan de Gestión de Datos (PGD), juega un papel crucial en este proceso. El PGD proporciona un marco para la recopilación, el almacenamiento, la gestión y el análisis de los datos, lo que a su vez informa sobre la validez y la relevancia de los escenarios definidos.

En función del análisis del rendimiento detallado por las actualizaciones del PGD, así como de las necesidades cambiantes del proyecto de investigación, los escenarios deben ser revisados, refinados y actualizados de manera iterativa. Este proceso de retroalimentación continua asegura que los escenarios sigan siendo relevantes, precisos y efectivos para guiar la investigación hacia sus objetivos.

La repetición de las descripciones de los escenarios puede implicar:

- *Aclarar o refinar el lenguaje*: Si se identifican ambigüedades o falta de claridad en la redacción original.
- *Ajustar las métricas*: Si las métricas definidas no son adecuadas para medir el éxito del escenario o si se identifican métricas más relevantes.
- *Añadir o eliminar escenarios*: En función de los nuevos descubrimientos o cambios en el enfoque de la investigación.
- *Modificar las precondiciones o los resultados esperados*: Si la comprensión del sistema o del fenómeno investigado evoluciona.

Este ciclo continuo de definición, medición, automatización y revisión de escenarios es fundamental para garantizar la rigurosidad, la validez y el progreso efectivo de la investigación científica. Un ejemplo concreto para la evaluación del subprincipio «(F1) Capacidad de búsqueda», se puede leer en sintaxis Gherkin como sigue:

- + *Dado*: «un conjunto de datos» con «metadatos»,
- + *Cuando*: «una máquina consulta los metadatos» para «recopilar (para reutilizar)» el «conjunto de datos»,
- + *Entonces*: los «metadatos requeridos» deben encontrarse y ser resolubles, por ejemplo, DOI (identificador de objeto digital).

En la siguiente sección, se llevará a cabo un análisis de los resultados que ya se han observado tras la implementación del BDD como metodología para redactar escenarios (Cucumber.io, s. f.-a) mediante sintaxis Gherkin (Cucumber.io, s. f.-b), los requerimientos por evaluar en los resultados de investigación, independientemente de su naturaleza o disciplina, sino enfocados en su tipo de activo y cómo este se adhieren a los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016).

2.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS CON EL BDD Y PRINCIPIOS FAIR

Esta implementación se ha centrado específicamente en la formulación de los requerimientos de evaluación de resultados de investigación a través de la sintaxis Gherkin. Cabe destacar que este enfoque metodológico se aplica de manera transversal, trascendiendo las particularidades inherentes a la naturaleza o disciplina de cada investigación. En lugar de

segmentar el análisis por campos específicos del conocimiento, la atención se centra en la tipología del activo resultante de la investigación y la manera en que estos activos se alinean y cumplen con los pilares fundamentales de los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016).

Este análisis detallado permitirá obtener una comprensión profunda del impacto de la metodología BDD (Cucumber.io, s. f.-a) en la claridad, precisión y verificabilidad de los requerimientos de evaluación. Asimismo, se explorará cómo la adopción de un lenguaje común y estructurado como Gherkin (Cucumber.io, s. f.-b) facilita la comunicación y la colaboración entre los diferentes actores involucrados en el proceso de investigación y evaluación, incluyendo investigadores, desarrolladores y otros *stakeholders* (Agile Alliance, s. f.).

La evaluación de la adherencia a los principios FAIR se realizará para cada tipo de activo identificado, analizando en qué medida los resultados de investigación, independientemente de su formato (datos, software, publicaciones, etc.), cumplen con los criterios específicos de cada principio.

- En relación con la *Findability*, se examinará la calidad de los metadatos asociados y la facilidad con la que los activos pueden ser descubiertos mediante búsquedas.
- En cuanto a la *Accessibility*, se analizarán los protocolos de acceso, las licencias y las posibles restricciones existentes.
- Respecto a la *Interoperability*, se evaluará la utilización de formatos y estándares abiertos que permitan la combinación y el intercambio de datos con otros activos.
- Finalmente, en lo referente a la *Reusability*, se considerarán las licencias de uso, la documentación detallada y la proveniencia de los datos que faciliten su posterior utilización en diferentes contextos.

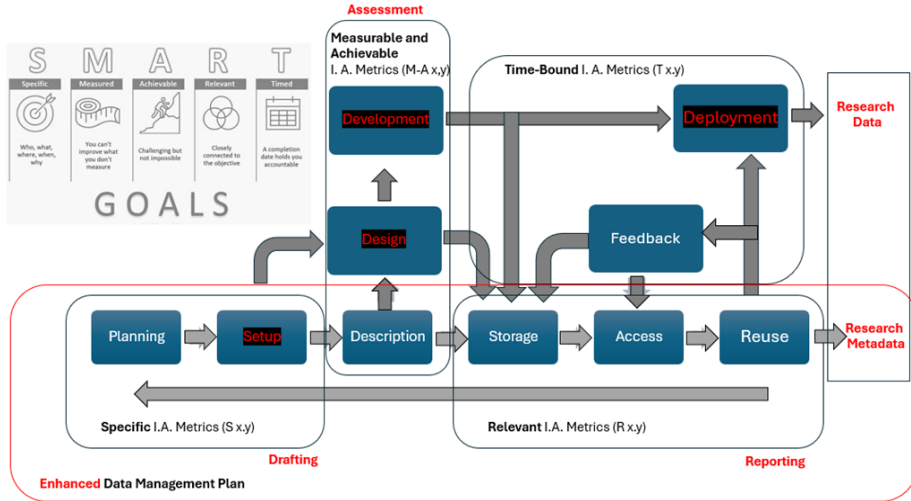
A través de este análisis estructurado se busca no solo identificar el grado de cumplimiento de los principios FAIR (Wilkinson *et al.*, 2016) de los resultados de investigación redactados con la metodología BDD (Cucumber.io, s. f.-a), sino también destacar las ventajas de este enfoque para mejorar la calidad, la transparencia y el impacto de la investigación en general.

Los hallazgos iniciales de la siguiente sección proporcionarán información valiosa para la optimización de los procesos de investigación y la promoción de prácticas más abiertas y colaborativas en el ámbito científico y académico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien este artículo se centra en la presentación del marco conceptual y la metodología, es importante destacar los resultados esperados y los beneficios potenciales de su implementación.

Figura 2. Métricas SMART adaptadas para RDLC para proveer metadatos adicionales para FAIRness (Grasso Toro, 2024b)



Se presentarán los casos de uso iniciales y se explorarán algunos detalles de los cambios y mejoras tangibles que se han identificado en la gestión y la difusión de los resultados de investigación como consecuencia directa de la aplicación de esta estrategia.

3.1. CASOS DE USO INICIALES

El marco propuesto tiene un amplio potencial de aplicación en diversos dominios de investigación. Algunos casos de uso en desarrollo incluyen:

- Ensayos clínicos: Se está explorando la aplicación del marco para el seguimiento de datos sensibles en ensayos clínicos, asegurando el cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) y la correcta compartición de métodos para la replicabilidad.
- Ciencias ambientales: Se está investigando la aplicación del marco para la monitorización de cambios ecológicos a largo plazo y la facilitación del intercambio de datos, modelos y ontologías.
- Humanidades digitales: Se está evaluando la aplicación del marco para la gestión de conjuntos de datos complejos de materiales textuales y multimedia para su análisis y preservación.

El marco propuesto demuestra una versatilidad considerable al ser aplicado y evaluado en una variedad de campos con necesidades específicas de gestión y compartición de datos sensibles y complejos.

3.1.1. *Ensayos clínicos*

La aplicación del marco en el ámbito de los ensayos clínicos se centra en abordar los desafíos inherentes al manejo de datos sensibles de pacientes. Esto incluye la recopilación, el procesamiento, el almacenamiento y la compartición de información clínica y resultados de investigación. Un aspecto crucial es garantizar el estricto cumplimiento del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) y otras normativas de privacidad relevantes.

El marco busca facilitar la implementación de mecanismos robustos de anonimización, seudonimización y control de acceso para proteger la confidencialidad de los participantes. Además, se explora cómo el marco puede estructurar y documentar los métodos utilizados en los ensayos clínicos, permitiendo una compartición transparente y facilitando la replicabilidad de los resultados por parte de otros investigadores. Esto promueve la transparencia y la colaboración en la investigación médica, acelerando el avance del conocimiento y la identificación de tratamientos efectivos. La capacidad del marco para gestionar la trazabilidad de los datos y los metadatos asociados también es fundamental para asegurar la integridad y la auditabilidad de los ensayos clínicos.

3.1.2. *Ciencias ambientales*

En el campo de las ciencias ambientales, el marco se está investigando como una herramienta para mejorar la monitorización de cambios ecológicos a largo plazo. Esto implica la gestión de grandes volúmenes de datos heterogéneos provenientes de diversas fuentes, como sensores remotos, estaciones de monitoreo terrestre y observaciones de campo. El marco busca facilitar la integración y el análisis de estos datos para identificar tendencias, patrones y anomalías en los ecosistemas. Un aspecto fundamental es la promoción del intercambio de datos entre diferentes instituciones y grupos de investigación, superando las barreras técnicas y semánticas que a menudo dificultan la colaboración. Para ello, se está explorando cómo el marco puede soportar el uso de modelos de datos y ontologías compartidas, asegurando la interoperabilidad y la comprensión común de la información. La capacidad del marco para gestionar la procedencia de los datos y los metadatos relevantes es esencial para garantizar la calidad y la fiabilidad de los análisis ecológicos. Esto permite una mejor comprensión de los impactos ambientales y la formulación de estrategias de conservación más efectivas.

3.1.3. *Humanidades digitales*

El ámbito de las humanidades digitales se caracteriza por el creciente uso de conjuntos de datos complejos (i. e., materiales textuales, imágenes, audio y video). El desarrollo del marco se evalúa como una solución para la gestión, el análisis y la preservación de estos recursos digitales. Los desafíos incluyen la diversidad de formatos de datos, la necesidad de herramientas de análisis especializadas y la importancia de la preservación a largo plazo para futuras generaciones de investigadores. El marco podría facilitar la organización y la catalogación de

estos conjuntos de datos, permitiendo un acceso más eficiente y la aplicación de técnicas de análisis avanzado, como el procesamiento del lenguaje natural y la visión por computador. Además, se está considerando su potencial para apoyar la creación de repositorios digitales interoperables, facilitando el descubrimiento y la reutilización de materiales de investigación. La capacidad del marco para gestionar metadatos ricos y la información sobre los derechos de autor y las condiciones de uso es crucial para garantizar el acceso ético y sostenible a estos valiosos recursos culturales e históricos.

3.2. OBSERVACIONES INICIALES A NIVEL DE PROYECTO

La aplicación del desarrollo dirigido por el comportamiento (BDD) para formalizar la evaluación de la FAIRness ya está mostrando resultados prometedores. Al definir escenarios de uso específicos y criterios de evaluación claros, el BDD no solamente se le permite al investigador principal una evaluación más precisa y objetiva de la FAIRness (capacidad de ser Encontrables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables) de los resultados, sino también de otros activos de investigación cruciales, como son protocolos, código computacional e incluso ontologías reutilizadas de proyectos anteriores.

El uso del BDD para evaluar la FAIRness de los datos de investigación y otros activos clave está mostrando resultados prometedores. Al definir escenarios de uso y criterios claros, el BDD permite una evaluación más precisa, facilita la identificación de áreas de mejora y proporciona un elemento reutilizable para la implementación de soluciones que optimizan la FAIRness. Al alinear las expectativas con las capacidades, el BDD fomenta la colaboración entre los equipos y acelera el progreso científico.

3.3. MEJORA DE LA COMUNICACIÓN MÁQUINA A MÁQUINA

El marco propuesto mejora la gestión de datos de investigación, facilitando la comunicación entre máquinas y permitiendo la automatización de tareas, evaluación de datos, generación de informes y seguimiento del progreso.

Uno de los principales beneficios de este marco es la optimización de la comunicación entre máquinas. Al integrar las métricas SMART y los principios FAIR en los PGD, se crea un lenguaje común que facilita el intercambio de información entre diferentes sistemas y plataformas. Esto ha permitido la automatización de tareas a nivel de grupo de investigación, la evaluación trazable de la FAIRness de los datos a nivel de trabajo del gestor de datos, la generación de informes a nivel de oficina de gestión de fondos de investigación y el seguimiento del progreso de la investigación.

La implementación de esta infraestructura ha facilitado la automatización de diversas tareas operativas dentro del grupo de investigación, optimizando la eficiencia y reduciendo la carga de trabajo manual. Esto incluye, entre otros aspectos, la gestión de metadatos, la organización de archivos y la ejecución de flujos de trabajo predefinidos.

Adicionalmente, se ha establecido un sistema de evaluación trazable para garantizar la conformidad de los datos de investigación con los principios FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) a lo largo de todo el ciclo de vida de los datos, con una supervisión detallada a nivel del gestor de datos responsable. Esta trazabilidad permite identificar y corregir posibles desviaciones de los estándares de calidad, asegurando la integridad y el potencial de reutilización de los datos generados.

En cuanto a la gestión administrativa, la plataforma posibilita la generación automática de informes personalizados, adaptados a las necesidades de la oficina de gestión de fondos de investigación. Estos informes proporcionan una visión clara y actualizada del estado de los proyectos, facilitando la toma de decisiones y la justificación de la inversión realizada.

Finalmente, la herramienta implementada ofrece funcionalidades de seguimiento del progreso de la investigación en tiempo real, permitiendo a los investigadores y a los responsables del grupo visualizar los avances, identificar posibles obstáculos y ajustar las estrategias según sea necesario. Este seguimiento continuo contribuye a una gestión más eficaz de los proyectos y a la optimización de los resultados de la investigación.

3.4. OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO Y AUMENTO DE LA TRANSPARENCIA

La transparencia y la trazabilidad que promueve este marco se traducen en una mayor eficiencia en la gestión de la investigación. Al eliminar ambigüedades y establecer criterios claros y medibles, se reducen los tiempos de revisión y aprobación de los PGD. Además, la automatización de ciertas tareas relativas al mantenimiento de datos y la disponibilidad de información en tiempo real permiten a los investigadores y gestores de datos tomar decisiones más informadas y oportunas.

3.5. RESULTADOS ESPECÍFICOS Y DESARROLLO CONTINUO

Es importante mencionar que, aunque los PGD mejorados con este marco están todavía en desarrollo, se espera que su implementación tenga un impacto significativo en la calidad y la eficiencia de la investigación. Se prevé que los PGD mejorados faciliten la evaluación de la FAIRness de los datos, promuevan la reutilización de los datos y optimicen la comunicación entre investigadores, instituciones académicas y entidades de financiación, como se ilustra en la Figura 3.

4. CONCLUSIONES

El marco propuesto ofrece una solución integral para mejorar el manejo de los PGD y promover la ciencia abierta. Al integrar las métricas SMART, los principios FAIR, el RDLC y el BDD, este marco facilita la creación de PGD más robustos, transparentes y eficientes.

Si bien los resultados específicos de su implementación aún están por verse, se espera que este marco tenga un impacto positivo en la calidad, la eficiencia y la transparencia de la investigación.

4.1. RESUMEN DEL MARCO INTEGRAL PARA EL MANEJO DE PLANES DE GESTIÓN DE DATOS

El marco conceptual propuesto representa una estrategia comprehensiva y multifacética destinada a optimizar sustancialmente el manejo de los planes de gestión de datos (PGD) y, simultáneamente, impulsar la adopción y los principios de la ciencia abierta dentro de la comunidad investigadora. Su principal fortaleza reside en la integración sinérgica de diversas metodologías y principios fundamentales, incluyendo las métricas SMART (Específicas, Medibles, Alcanzables, Relevantes y con plazos definidos de tiempo), el ciclo de vida de los datos de investigación (RDLC), los principios FAIR (Encontrables, Accesibles, Interoperables y Reutilizables) y la descripción de datos básicos (BDD).

La incorporación de las métricas SMART dentro de este marco tiene como objetivo asegurar que los objetivos establecidos en los PGD sean claramente definidos, susceptibles de seguimiento y evaluación a lo largo del ciclo de vida del proyecto de investigación. Esto permite a los investigadores y a las instituciones monitorizar el progreso en la gestión de datos y realizar ajustes informados según sea necesario.

El ciclo de vida de los datos de investigación (RDLC) proporciona una estructura lógica para la gestión de datos, desde su planificación y recopilación hasta su procesamiento, análisis, preservación y reutilización. Al integrar el RDLC en el marco propuesto, se asegura que los PGD aborden todas las etapas cruciales del ciclo de vida de los datos, promoviendo una gestión proactiva y reflexiva de los recursos de datos.

La adhesión a los principios FAIR es un componente central de este marco, reconociendo la creciente importancia de garantizar que los datos de investigación sean fácilmente descubiertos por otros investigadores, accesibles bajo condiciones claras y comprensibles, interoperables con diferentes conjuntos de datos y sistemas y susceptibles de ser reutilizados para futuras investigaciones. La implementación de los principios FAIR no solo aumenta la visibilidad y el impacto de los datos de investigación, sino que también fomenta la colaboración y la reproducibilidad de los resultados científicos.

La inclusión de la descripción basada en comportamiento del sistema de manejo de datos (mediante el BDD) dentro del marco subraya la necesidad de documentar adecuadamente los datos de investigación, proporcionando información esencial sobre su contexto, metodología de recopilación, estructura y posibles limitaciones, siguiendo los escenarios descritos con sintaxis Gherkin. Una documentación exhaustiva, facilitada por el BDD, mejora significativamente la comprensibilidad y la reutilización de los datos por parte de la comunidad científica.

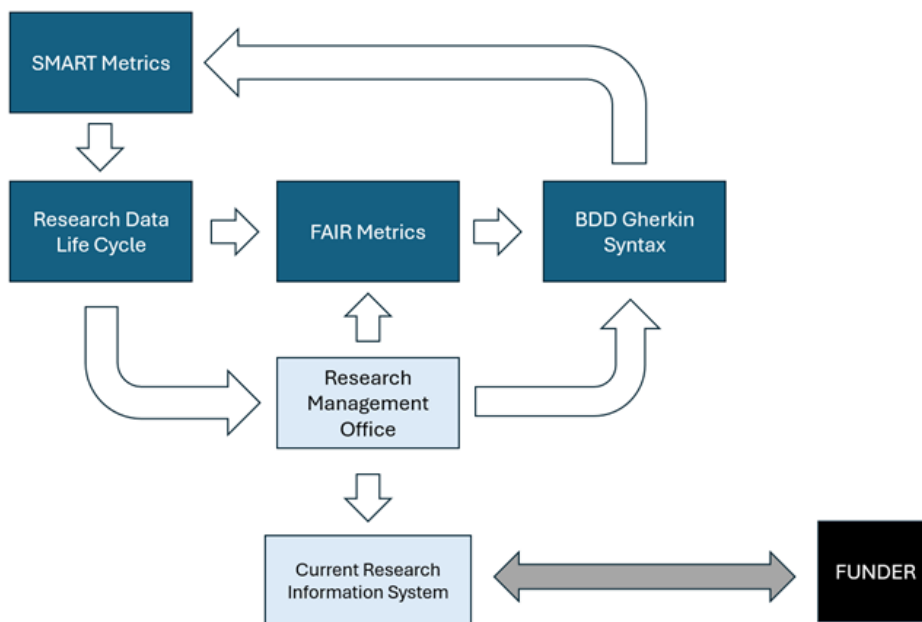
En conjunto, la integración de las métricas SMART, los principios FAIR, el RDLC y el BDD en este marco propuesto crea un ecosistema favorable para la creación de PGD que son

inherentemente más robustos en su planificación, transparentes en su ejecución y eficientes en la gestión de los recursos de datos.

Si bien es crucial reconocer que los resultados concretos y cuantificables de la adopción de este marco se manifestarán plenamente a través de su implementación práctica y la evaluación de su impacto a largo plazo, las expectativas iniciales sugieren un efecto considerablemente positivo en aspectos fundamentales de la investigación científica.

Se anticipa una mejora notable en la calidad de los datos gestionados, un aumento en la eficiencia de los procesos de investigación gracias a una mejor planificación y organización de los datos y un incremento significativo en la transparencia de la investigación, facilitando la verificación de los resultados y la construcción de conocimiento sobre bases más sólidas. En última instancia, este marco aspira a contribuir de manera sustancial a la evolución hacia una ciencia más abierta, colaborativa y de mayor impacto.

Figura 3. Marco de mejora para la comunicación entre investigadores, instituciones y entidades de financiación (Grasso Toro, 2024b)



4.2. EL ROL DEL GESTOR DE DATOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTE MARCO

La implementación exitosa del marco propuesto depende en gran medida de la participación activa de los gestores de datos (*Data Stewards* en inglés).

Estos profesionales desempeñan un papel crucial en la recopilación de requisitos, la colaboración entre los diferentes actores y la validación de las métricas SMART de los activos intelectuales por investigar. El marco propuesto tiene el potencial de ser aplicado en una amplia gama de dominios de investigación, incluyendo ensayos clínicos, ciencias ambientales y humanidades digitales, como se mencionó anteriormente.

La capacidad para fomentar una mayor transparencia, reproducibilidad y colaboración entre investigadores, instituciones académicas y entidades de financiación posiciona este marco como una herramienta de gran valor para impulsar el avance de la reutilización del conocimiento científico (Grasso Toro, 2024b).

Además, puede facilitar la gestión y el intercambio eficiente de datos de investigación, promoviendo la integridad de los datos y reduciendo la duplicación de esfuerzos. Tiene el potencial de democratizar el acceso a la información científica y acelerar el descubrimiento y la divulgación, convirtiéndose en un elemento clave para el futuro de la investigación y a su vez consolidar nuevas iniciativas como la ciencia ciudadana. La implementación exitosa de este marco requerirá la participación proactiva de investigadores, gestores de datos y entidades de financiación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agile Alliance. (s. f.). *Three amigos*. <https://www.agilealliance.org/glossary/three-amigos/>
- Burnette, M. H., Williams, S. C. e Imker, H. J. (2016). From plan to action: Successful data management plan implementation in a multidisciplinary project. *Journal of eScience Librarianship*, 5(1), e1101. <https://doi.org/10.7191/jeslib.2016.1101>
- Corporate Finance Institute. (s. f.). *SMART goal - Definition, guide, and importance of goal setting*. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/management/smart-goal/>
- Cucumber.io. (s. f.-a). *Who writes the scenarios?* <https://cucumber.io/blog/bdd/who-writes-the-cucumber-scenarios/>
- Cucumber.io. (s. f.-b). *Gherkin reference*. <https://cucumber.io/docs/gherkin/reference/>
- Dataversity. (s. f.). *A brief history of data management*. <https://www.dataversity.net/brief-history-data-management/>
- Grasso Toro, F. (2024). DMPs as Management Tools for Intellectual Assets by SMART-metrics. *International Journal of Digital Curation*, 18(1). <https://doi.org/10.2218/ijdc.v18i1.919>
- Grasso Toro, F. (2024, May 13-17). *Assisting FAIRness lifecycle: SMART-metrics for FAIR research data lifecycle management* [Presentación en Power Point]. EnhanceR Symposium 2024, Zurich, Switzerland. <https://symposium2024.enhancer.ch/materials/>
- Schmitt, R. H., Bodenbenner, M., Hamann, T., Sanders, M. P., Moser, M. y Abdelrazeq, A. (s. f.). *Leveraging measurement data quality by adoption of the FAIR guiding principles*. [Preprint Manuscript].
- Wilkinson, M. D. *et al.* (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

