

Cuadro de Análisis Metodológico

Investigación: Estado del Arte de Estrategias para Reducir el Sim2Real Gap en Gemelos Digitales

Autora: Lucia Pereda | Universidad Abierta Interamericana

Introducción al Análisis

El presente cuadro integra los conceptos metodológicos fundamentales expuestos en el documento de Beverly Castillo Herrera sobre el Marco Teórico, aplicándolos específicamente a la investigación sobre estrategias para reducir la brecha simulación-realidad (Sim2Real Gap) en Gemelos Digitales. Este análisis permite justificar y enriquecer las decisiones metodológicas adoptadas en el trabajo de investigación de final de carrera.

Cuadro de Conceptos Metodológicos

Concepto Metodológico	Definición Breve	¿Cómo aplica en mi investigación?	Ejemplo específico que justifica o enriquece el diseño
Diseño de investigación	Es el plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información requerida en una investigación. Constituye el marco metodológico que guía la recolección y análisis de datos.	La investigación adopta un diseño de revisión sistemática de literatura (Estado del Arte), siguiendo las fases heurística y hermenéutica descritas por Castillo Herrera. Este diseño permite rastrear cómo ha sido tratado el tema del Sim2Real Gap, identificar tendencias y clasificar estrategias.	El diseño se justifica al delimitar el período 2023-2025, permitiendo capturar las técnicas más recientes en un campo que evolucionó significativamente con el auge de la IA. La estructura del documento (Planteamiento, Objetivos, Alcance, Estado del Arte) refleja un plan metodológico coherente para sistematizar el conocimiento.
Tipo de diseño (experimental / cuasi / no experimental)	Los diseños experimentales implican manipulación de variables; los cuasi-experimentales carecen de asignación aleatoria; los no experimentales observan fenómenos sin intervención.	No experimental. La investigación no manipula variables ni implementa intervenciones. Se limita a observar, documentar, clasificar y analizar las estrategias reportadas en la literatura científica sin alterar las condiciones de los estudios revisados.	Al revisar trabajos como Liu et al. (2023) sobre DT-CycleGAN o Voogd et al. (2023) sobre conducción autónoma, la investigación no replica ni modifica sus experimentos, sino que analiza sus resultados reportados. Esto es coherente con un Estado del Arte que busca caracterizar y evaluar estrategias existentes.
Modalidad del diseño (longitudinal / transversal / estudio de casos / etnográfico)	Transversal: recolecta datos en un momento único. Longitudinal: a lo largo del tiempo. Estudio de casos: análisis profundo de instancias específicas. Etnográfico: inmersión en contextos culturales.	Transversal con componente de análisis de casos. Se revisa la literatura en un corte temporal específico (2023-2025) y se analizan casos representativos de cada categoría de estrategia (Domain Randomization, Domain Adaptation, Transfer Learning, Calibración).	El análisis de casos como RialTo (López Torné et al., 2024) para Real-to-Sim-to-Real o el benchmark de Katyara et al. (2024) para manufactura ágil, permite profundizar en instancias específicas que ilustran cada categoría metodológica, enriqueciendo la comprensión del fenómeno más allá de una simple enumeración.
Tipo de estudio (exploratorio /	Exploratorio: examina temas poco estudiados. Descriptivo: especifica	Descriptivo con elementos exploratorios. Se describen y clasifican las estrategias	La investigación no busca explicar por qué funciona cada estrategia (sería explicativo),

Concepto Metodológico	Definición Breve	¿Cómo aplica en mi investigación?	Ejemplo específico que justifica o enriquece el diseño
descriptivo / explicativo)	propiedades y características. Explicativo: establece causas de fenómenos.	existentes (taxonomía), sus características, ventajas y limitaciones. El componente exploratorio surge al identificar tendencias emergentes y áreas de oportunidad no completamente desarrolladas.	sino describir qué estrategias existen, cómo se clasifican y cuáles son sus resultados reportados. Por ejemplo, al describir que Domain Randomization reduce el gap en 35-45% según Katyara et al. (2024), se caracteriza el fenómeno sin explicar los mecanismos causales subyacentes.
Variables o aspectos analizados	Elementos del fenómeno que se observan y miden. Según Castillo Herrera, el marco teórico debe identificar conceptos explícitos e implícitos y establecer relaciones entre variables.	Se analizan múltiples aspectos: (1) Tipos de estrategias (DR, DA, TL, Calibración), (2) Dominios de aplicación (conducción, robótica, manufactura), (3) Métricas de fidelidad (geométrica, dinámica, contacto), (4) Resultados cuantitativos de transferencia, (5) Limitaciones y desafíos de cada enfoque.	La identificación de métricas como Fidelidad Geométrica ($FG = 1 - \text{psim-preal} / \text{preal} $) y Fidelidad Dinámica ($FD = 1 - \text{tsim-treal} / \text{treal} $) del trabajo de Katyara et al. (2024) muestra la operacionalización de conceptos abstractos (el 'gap') en variables medibles, siguiendo el principio de conceptualización específica operacional del marco teórico.
Técnicas o métodos de recolección de información	Procedimientos para obtener datos. Castillo Herrera distingue fuentes primarias (generadas por el investigador), secundarias (experiencias de otros) y terciarias (directorios, catálogos).	Revisión sistemática de fuentes secundarias: artículos de revistas científicas (IEEE, IFAC), preprints de arXiv, conferencias (ICRA, CoRL, NeurIPS). Se aplicaron criterios de inclusión (validación experimental, propuestas novedosas) y exclusión (trabajos previos a 2023, sin revisión por pares).	La fase heurística se evidencia en la búsqueda en bases de datos científicas y la selección de 45 referencias bibliográficas. La fase hermenéutica se refleja en la clasificación de trabajos en categorías (Domain Randomization, Domain Adaptation, etc.) y la síntesis de tendencias emergentes como la convergencia hacia soluciones híbridas.
Relación entre objetivos y estrategia metodológica	Coherencia entre lo que se quiere lograr y cómo se planea lograrlo. Según el documento, el marco teórico debe conducir al establecimiento de hipótesis y proveer un marco de referencia para interpretar resultados.	Existe coherencia directa: el objetivo general de 'caracterizar, clasificar y evaluar estrategias' se traduce en cuatro objetivos específicos, cada uno abordado metodológicamente mediante revisión de literatura especializada y análisis de casos representativos por dominio de aplicación.	El objetivo específico 'Analizar técnicas de Domain Randomization' se operacionaliza metodológicamente al revisar trabajos de Voogd et al. (2023), Park et al. (2024) y Katyara et al. (2024), identificando parámetros típicos de aleatorización (físicos, visuales, sensoriales) y estrategias de muestreo (Uniform, ADR, AutoDR). Esta estructura garantiza que cada objetivo tenga respaldo metodológico explícito.

Análisis Complementario: Componentes del Marco Teórico

Según Castillo Herrera, el marco teórico se compone de tres partes: el marco teórico propiamente tal, el marco referencial y el marco conceptual. A continuación se analiza cómo la investigación sobre Sim2Real Gap integra estos componentes:

Componente	Definición según Castillo Herrera	Aplicación en la Investigación Sim2Real Gap
Marco Teórico Propiamente Tal	El enfoque epistemológico desde donde se mira el objeto de estudio. La teoría que ordena la investigación y sirve como modelo de la realidad investigada.	El enfoque se fundamenta en la teoría de gemelos digitales (Grieves & Vickers, 2017; Tao et al., 2019) y el paradigma de aprendizaje por refuerzo para transferencia sim-to-real. Se adopta una visión donde el Sim2Real Gap es un fenómeno multidimensional (físico, sensorial, comportamental) que requiere soluciones híbridas, no monolíticas.
Marco Referencial (Antecedentes)	Revisión de publicaciones recientes para examinar investigaciones similares, sus resultados y enfoques. Permite no cometer los mismos errores y aprovechar lo que sirva.	La sección 'Estado del Arte' constituye el marco referencial, documentando 45 trabajos representativos (2023-2025). Se analizan antecedentes como OpenAI (2019) para manipulación con Rubik's cube, Dosovitskiy et al. (2017) con CARLA, y se identifican las contribuciones específicas de cada trabajo al problema investigado.
Marco Conceptual	Elaboración conceptual del contexto del problema. Serie de ideas organizadas, definiciones, supuestos. Una teorización del contexto donde se considera el problema.	Se operacionalizan conceptos clave: Sim2Real Gap como 'divergencia entre comportamiento simulado y real'; Domain Randomization como 'exposición a variabilidad para robustez'; Fidelidad (geométrica, dinámica, de contacto); Gemelos Digitales Ejecutables (xDT). Estas definiciones permiten comunicar el problema de manera precisa y mensurable.

Conclusiones del Análisis Metodológico

- 1. Coherencia metodológica:** La investigación sobre Sim2Real Gap demuestra alineación entre el problema planteado (brecha simulación-realidad), los objetivos (caracterizar, clasificar, evaluar estrategias) y el diseño metodológico adoptado (revisión sistemática no experimental, descriptiva, transversal).
- 2. Fundamentación teórica:** El trabajo integra los tres componentes del marco teórico señalados por Castillo Herrera, proporcionando un enfoque epistemológico claro (teoría de gemelos digitales), antecedentes comprehensivos (45 referencias) y un marco conceptual operacionalizado.
- 3. Validez del enfoque:** La delimitación temporal (2023-2025), tecnológica (simuladores, técnicas de ML) y de dominios (conducción, robótica, manufactura) responde a criterios metodológicos que permiten un estudio manejable, profundo y actual.
- 4. Contribución al conocimiento:** Siguiendo las funciones del marco teórico, la investigación previene errores (identificando limitaciones de cada estrategia), orienta futuros estudios (señalando áreas de oportunidad), amplía el horizonte (integrando múltiples dominios) e inspira nuevas líneas de investigación (certificación formal, generalización zero-shot).