

Fomentando la comprensión profunda de la relatividad general mediante la pedagogía de la escuela activa en América Latina

Fostering deep learning of general relativity through active school pedagogy in Latin America

CARLOS ELOY RIVERA LANDA¹⁰

Resumen

La enseñanza de la Teoría General de la Relatividad (TGR) en el nivel universitario enfrenta importantes desafíos en América Latina. Entre ellos destacan la escasez de recursos didácticos adaptados al contexto regional, las limitaciones tecnológicas para el uso de simulaciones y entornos virtuales, y la persistencia de métodos tradicionales centrados en la transmisión pasiva de contenidos. Estas condiciones han generado una brecha entre el rigor conceptual y matemático que demanda la teoría y la comprensión alcanzada por los estudiantes. El objetivo es construir un modelo analítico de enseñanza-aprendizaje que, desde este marco teórico y metodológico, permita superar la enseñanza fragmentada y memorística de la TGR, abriendo paso a experiencias educativas más significativas, críticas y transformadoras en el ámbito universitario latinoamericano.

Palabras clave: Teoría General de la Relatividad, escuela activa, pensamiento complejo, aprendizaje significativo, transposición didáctica, enseñanza universitaria.

Abstract

The teaching of General Relativity (GR) at the university level faces significant challenges in Latin America. Among them are the lack of didactic resources adapted to the regional context, technological limitations for the use of simulations and virtual environments, and the persistence of traditional methods focused on

¹⁰Doctorante en Educación UAE. Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Ingeniería Eléctrica, Sección Computación CINVESTAV del IPN. Maestría en Ciencias Área Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Chihuahua Chihuahua, Chih. 1992-1997. Maestría en Educación para la Paz Área Desarrollo Humano, Universidad Albert Einstein. Maestría en Ciencias Físicas, Universidad Albert Einstein. Auxiliar de Investigación en el CINVESTAV del IPN, Departamento de Matemática Educativa, Sección Máquinas de Enseñanza. CDMX 1981-1987. Coordinador del Departamento de Tecnología y Docente de Ingeniería en Sistemas de Información, de la Universidad Albert Einstein. Isidro Fabela, Estado de México. 2013-2017. Director de Desarrollo Institucional y Docente de Maestría en Ciencias Físicas de la Universidad Albert Einstein. Isidro Fabela, Estado de México. 2020 a la fecha.

passive content transmission. These conditions have created a gap between the conceptual and mathematical rigor demanded by the theory and the level of understanding achieved by students. The objective is to construct an analytical teaching–learning model that, based on these theoretical and methodological foundations, can overcome the fragmented and rote teaching of GR, paving the way for more meaningful, critical, and transformative educational experiences in the Latin American university context.

Keywords: General Relativity, active learning, complex thinking, meaningful learning, didactic transposition, higher education.

Recibido: 09/05/2025

Aceptado: 22/06/2025

Introducción

La enseñanza de la Teoría General de la Relatividad (TGR) en el nivel universitario constituye un desafío significativo en América Latina, donde persisten limitaciones vinculadas a la escasez de recursos didácticos adaptados al contexto, la desigualdad en el acceso a tecnologías educativas y la prevalencia de métodos de enseñanza tradicionales basados en la transmisión pasiva de contenidos. Estas condiciones obstaculizan la posibilidad de que los estudiantes alcancen una comprensión profunda de una teoría que exige tanto un dominio matemático riguroso como la capacidad de articular conceptos provenientes de la física, la geometría y la filosofía de la ciencia. Frente a este panorama, resulta pertinente buscar alternativas pedagógicas que permitan resignificar la manera en que se enseña la relatividad, situando al estudiante en el centro del proceso de aprendizaje y respondiendo a las recomendaciones de organismos internacionales como la UNESCO, la CELAC y la Nueva Escuela Mexicana.

126

En este marco, la revisión documental que aquí se presenta se orienta a analizar de manera crítica diversos enfoques teóricos que ofrecen herramientas valiosas para repensar la enseñanza de la TGR. El pensamiento complejo de Edgar Morin brinda una perspectiva que reconoce la necesidad de integrar dimensiones múltiples y aparentemente disjuntas del conocimiento, haciendo posible un abordaje que conecta la formalización matemática con la reflexión epistemológica y pedagógica. El aprendizaje significativo de David Ausubel enfatiza la relevancia de anclar nuevos conceptos en estructuras previas, como las de la física clásica y el electromagnetismo, favoreciendo así la construcción de significados estables y comprensibles. Por su parte, la transposición didáctica de Yves Chevallard permite problematizar la transformación del conocimiento científico especializado en saber enseñable, identificando las estrategias necesarias para simplificar sin trivializar y adaptar sin perder el rigor propio de la disciplina.

Estos tres marcos teóricos encuentran un terreno fértil de integración en el enfoque de la escuela activa, inspirada en Dewey, Freire y Vygotsky, que concibe el aprendizaje como un proceso de participación, diálogo crítico y experimentación. Desde esta perspectiva, se plantea que la enseñanza de la relatividad puede configurarse como un espacio de construcción conjunta del conocimiento, en el que los estudiantes manipulen modelos, realicen simulaciones, elaboren analogías y dialoguen en torno a fenómenos cósmicos, todo ello bajo un horizonte de autonomía intelectual y pensamiento crítico.

De este modo, el interés central de este trabajo radica en examinar las aportaciones de estas teorías y documentos de referencia con el fin de decantar un modelo analítico de enseñanza-aprendizaje que, en el contexto universitario latinoamericano, posibilite superar la enseñanza fragmentada y memorística de la TGR y abra paso a experiencias educativas que favorezcan la comprensión profunda y significativa

de una de las teorías más influyentes de la física contemporánea.

Es en todo este contexto donde se plantea la pregunta central que orienta la búsqueda y el análisis documental: ¿cómo repensar los sistemas de enseñanza-aprendizaje de la relatividad general para que dejen de ser un saber inaccesible y se conviertan en un conocimiento vivo y significativo? En torno a esta cuestión principal emergen otras interrogantes que buscan clarificar el camino: ¿cuáles son hoy los principales retos que enfrentan los estudiantes y docentes en este campo?, ¿de qué manera el pensamiento complejo puede ayudar a integrar los componentes teóricos y prácticos de la relatividad en un mismo horizonte de comprensión?, ¿cómo favorecer la construcción de significados profundos apoyándose en los conocimientos previos de física clásica y electromagnetismo?, ¿qué estrategias de transposición didáctica son más pertinentes para transformar un formalismo altamente especializado en contenidos enseñables?, y ¿qué aportes de la escuela activa pueden potenciar experiencias más participativas y dialógicas en la enseñanza universitaria de esta teoría?

Estas preguntas desembocan en un objetivo amplio que guía el trabajo: analizar la enseñanza de la Teoría General de la Relatividad en universidades latinoamericanas desde una mirada documental, integrando los aportes del pensamiento complejo, el aprendizaje significativo y la transposición didáctica bajo el horizonte metodológico de la escuela activa, con la finalidad de proponer un modelo de referencia que permita diseñar sistemas de enseñanza-aprendizaje más pertinentes y efectivos.

127

De este propósito se desprenden metas más concretas. Una de ellas es identificar las recomendaciones y lineamientos internacionales —particularmente los de la UNESCO, la CELAC y la Nueva Escuela Mexicana— que pueden ofrecer claves para superar los obstáculos actuales. Otra es examinar cómo el pensamiento complejo abre la posibilidad de abordar la relatividad desde una visión integradora que no fragmente, sino que conecte lo científico con lo filosófico y lo pedagógico.

También interesa analizar de qué manera el aprendizaje significativo puede contribuir a que el estudiante construya una comprensión más estable y duradera a partir de lo que ya sabe. En paralelo, se considera indispensable estudiar las implicaciones de la transposición didáctica para encontrar las formas adecuadas de traducir un conocimiento científico altamente formal en experiencias accesibles y comprensibles sin perder rigor.

Asimismo, se busca explorar cómo la escuela activa, con sus principios de aprender haciendo, diálogo crítico y colaboración, puede convertirse en una vía eficaz para diseñar experiencias innovadoras de aprendizaje. Finalmente, todo este recorrido pretende integrarse en un modelo analítico que articule estos marcos y enfoques, ofreciendo a los docentes una herramienta que oriente prácticas educativas más coherentes, inclusivas y transformadoras en la enseñanza universitaria de la relatividad general.

Marco teórico

Los principios del pensamiento complejo (Morin, 2005), el proceso de la transposición didáctica (Chevallard, 1991) y el modelo del aprendizaje significativo (Ausubel, Novak, & Hanesian, 1983) son tres ejes teóricos que podrían guiar la enseñanza de los conceptos centrales de la teoría general de la relatividad, en la intersección de un eje transversal pedagógico como la escuela activa (Dewey, 1916, 1938; Freire, 1969, 2005; Vygotsky, 1934/1993, 1978) y otro normativo atendiendo las recomendaciones de organismos internacionales como la UNESCO (1998, 2017, 2021) y la CELAC (2014, 2020), y nacionales como la Nueva Escuela Mexicana (Secretaría de Educación Pública (SEP), 2019).

Conceptos centrales de la TGR

Los cursos universitarios suelen incluir: espacio-tiempo, principio de equivalencia, geodésicas, dilatación temporal, curvatura y soluciones como la métrica de Schwarzschild (Einstein, 1916; D’Inverno, 1998; Hartle, 2003; Schutz, 1985, 2009; Carroll, 2004; Wald, 1984; Misner, Thorne, & Wheeler, 1973). Además, se incorporan fenómenos astrofísicos como agujeros negros u ondas gravitacionales, y aplicaciones tecnológicas como el GPS.

1. Los cursos universitarios en América Latina seleccionan como tópicos esenciales:
2. Espacio-tiempo y transformaciones de Lorentz.
3. Principio de equivalencia y experimento del elevador de Einstein.
4. Ecuaciones de campo de Einstein.
5. Geometría del espacio-tiempo: curvatura, métricas, geodésicas.
6. Fenómenos clave: precesión de Mercurio, deflexión de la luz (1919), dilatación temporal, ondas gravitacionales, GPS.

Pensamiento Complejo de Edgar Morin

El pensamiento complejo propone principios como el sistémico, hologramático, dialógico, de incertidumbre, entre otros, que permiten comprender la realidad desde una perspectiva no reduccionista (Morin, 2005). Aplicado a la TGR, implica enseñar la teoría no como fórmulas aisladas, sino como un entramado interrelacionado de espacio, tiempo, materia y energía. También fomenta la visión transdisciplinaria, conectando la física con la filosofía, la tecnología y la cultura.

Transposición Didáctica de Chevallard

Este enfoque explica cómo el saber científico se transforma en saber enseñado (Chevallard, 1991). En el caso de la TGR, el proceso implica seleccionar

los conceptos esenciales como la curvatura del espacio-tiempo, el principio de equivalencia o la dilatación temporal y traducirlos en experiencias didácticas comprensibles. También resalta el papel del currículo universitario en definir qué contenidos se transmiten, y la necesidad de evitar simplificaciones excesivas sin perder rigor conceptual.

Aprendizaje significativo de Ausubel

Este modelo enfatiza la importancia de los conocimientos previos, el uso de materiales potencialmente significativos y la motivación del estudiante (Ausubel 2002; Ausubel et al., 1983). Para la TGR, se trata de partir de nociones clásicas de gravedad, usar organizadores previos como analogías o mapas conceptuales y promover la comprensión más que la memorización. La relatividad se convierte en un marco supraordenado que integra y amplía los saberes de Newton.

Escuela activa: Dewey, Freire y Vygotsky

Los principios de la escuela activa enriquecen el diseño pedagógico de la TGR:

- Dewey – Aprender haciendo: fomentar proyectos experimentales (Dewey, 1916, 1938).
- Freire – Diálogo crítico y problematización: debates sobre implicaciones sociales y éticas de la relatividad (Freire, 1969, 2005).
- Vygotsky – Zona de Desarrollo Próximo (ZDP): introducir la TGR a partir de conocimientos previos con apoyo de andamiajes y colaboración guiada (Vygotsky, 1934/1993, 1978).

129

Normatividad Internacional y Regional

Los marcos de la UNESCO, la CELAC y la Nueva Escuela Mexicana guían la enseñanza universitaria de la ciencia:

- UNESCO: ciencia como bien común; promover pensamiento crítico, interdisciplinariedad, ciencia abierta y sostenibilidad (UNESCO, 1998, 2017, 2021).
- CELAC: cooperación regional, movilidad académica, formación en ciencias estratégicas (CELAC, 2014, 2020).
- Nueva Escuela Mexicana (NEM): humanismo, inclusión, equidad, vinculación social y uso de NTIC (SEP, 2019).

Metodología

El tipo de estudio que se presenta en este artículo es de revisión y análisis documental dentro de un enfoque cualitativo de carácter interpretativo. Resulta adecuado porque se pretende comprender el proceso de la enseñanza–aprendizaje de

la Teoría General de la Relatividad a partir de marcos teóricos y normativos, así como identificar tensiones, convergencias y aportes que tendrían la capacidad de guiar el diseño de propuestas pedagógicas. El análisis documental, entendido como un proceso sistemático de selección, revisión, categorización e interpretación de textos, permite fundamentar un corpus de conocimiento mediante la organización crítica de fuentes diversas (Bowen, 2009; Cellard, 1997).

El estudio se llevó a cabo como revisión documental analítico–hermenéutica. Con el propósito de interpretar cómo los textos seleccionados abordan tres categorías teóricas y dos categorías normativas transversales, establecidas de manera a priori a partir de referentes reconocidos en el campo educativo y científico. Estas categorías no se asumieron de forma rígida, sino como ejes orientadores que facilitaron la emergencia de nuevas subcategorías durante el proceso de análisis (Flick, 2015; Merriam & Tisdell, 2015).

La metodología adoptada se fundamenta en el análisis documental como estrategia de aproximación cualitativa (Bowen, 2009), así como en la tradición hermenéutica de interpretación de textos (Gadamer, 1993). Los procedimientos de codificación se apoyaron en la teoría fundamentada (Strauss & Corbin, 2002), adaptada a un corpus documental.

Las categorías teóricas:

- Pensamiento complejo, que establece la necesidad de conectar saberes fragmentados para favorecer una comprensión integral de la realidad a partir de la propuesta de Edgar Morin (2005).
- Transposición didáctica, que aporta un proceso de transformación del saber científico en saber enseñable, aplicable a cada concepto de la disciplina que se aborde, de Yves Chevallard (1991).
- Aprendizaje significativo, que destaca la importancia de los conocimientos previos y los organizadores conceptuales en la propuesta de David Ausubel (2002).

Las categorías transversales:

1. Políticas públicas en educación superior, considerando la atención de los lineamientos internacionales de la UNESCO (2017), las recomendaciones de la CELAC (2014, 2020) y las orientaciones de la Nueva Escuela Mexicana (SEP, 2019).
2. Escuela activa, representada para este estudio en las ideas de John Dewey (1938), Paulo Freire (1969, 2005) y Lev Vygotsky (1978), quienes resaltan el aprender haciendo, el diálogo crítico y la construcción social del conocimiento.

Fases del proceso metodológico:

3. Selección del corpus: se recopilaron textos académicos, marcos teóricos y documentos normativos de organismos internacionales y nacionales. Los criterios de inclusión fueron pertinencia temática, actualidad y relevancia en el campo de la enseñanza de las ciencias.

4. Organización y categorización: se construyeron cuadros iniciales para identificar intersecciones entre las categorías mencionadas. A partir de la lectura exploratoria, se identificaron fragmentos representativos y posibles subcategorías emergentes (Strauss & Corbin, 2002).

5. Análisis documental: se aplicó un procedimiento de codificación axial, estableciendo relaciones entre las categorías teóricas y transversales. Esta etapa incluyó la contrastación de enfoques teóricos con políticas educativas y propuestas pedagógicas.

6. Interpretación hermenéutica: se desarrolló un ejercicio de lectura crítica orientado a reconocer intersecciones, divergencias y vacíos entre los distintos marcos de referencia. Se buscó construir un marco analítico integrador que articule las categorías.

131

Hallazgos

¿Cuáles son los conceptos centrales de la TGR que se enseñan en nivel superior en América Latina?

- Los programas universitarios destacan:
- Espacio-tiempo y transformaciones de Lorentz.
- Principio de equivalencia y experimento del elevador de Einstein.
- Geometría del espacio-tiempo: métricas, geodésicas y curvatura.
- Ecuaciones de campo de Einstein.
- Soluciones como la métrica de Schwarzschild.
- Fenómenos astrofísicos: precesión de Mercurio, deflexión de la luz (1919), agujeros negros, ondas gravitacionales.
- Aplicaciones tecnológicas: correcciones relativistas al GPS.

¿Cómo el pensamiento complejo permite estructurar un marco global de enseñanza-aprendizaje de la TGR?

El pensamiento complejo de Morin aporta principios que facilitan un abordaje integral de la TGR. El principio sistémico invita a ver la relatividad como un entramado de interacciones entre espacio, tiempo, energía y materia. El hologra-

mático muestra cómo un fenómeno local, como la dilatación temporal en el GPS, refleja la validez de la teoría completa. La recursividad resalta la interdependencia entre espacio-tiempo y materia. El dialógico permite integrar relatividad y mecánica clásica. Otros principios, como la auto-eco-organización, la incertidumbre, la contextualización y la transdisciplinariedad, impulsan una enseñanza activa, crítica y conectada con distintos ámbitos del saber.

¿De qué manera el aprendizaje significativo favorece la comprensión conceptual de la TGR?

El modelo de Ausubel subraya la relevancia de los conocimientos previos: se parte de la gravedad newtoniana para introducir la curvatura espaciotemporal. El aprendizaje significativo se diferencia del memorístico porque busca comprensión, no repetición mecánica. Esto se logra con materiales estructurados, secuencias progresivas y aplicaciones prácticas como el eclipse de 1919 o la explicación del GPS. Se incluyen además organizadores previos como mapas conceptuales o metáforas, como la sábana elástica, que ayudan a los estudiantes a anclar nuevos conocimientos de forma profunda.

132

¿Qué rol juega la transposición didáctica en traducir formalismos matemáticos al aula universitaria?

La transposición didáctica permite convertir el saber científico en saber enseñado. En la TGR, el “saber sabio” como son las ecuaciones de campo de Einstein o la geometría diferencial, se transforma en conceptos nucleares comprensibles. El proceso pasa por:

- Saber sabio → Saber a enseñar: simplificar sin perder rigor.
- Saber a enseñar → Saber enseñado: emplear simulaciones y recursos digitales.
- Instituciones: definir currículos que incluyan aplicaciones cotidianas (ej. GPS).
- No neutralidad: reconocer que siempre hay reducción y selección de contenidos.
- Contrato didáctico: aclarar los objetivos de aprendizaje como son la comprensión, la aplicación o el formalismo.
- De este modo, se equilibra la fidelidad científica con la accesibilidad pedagógica.

¿Cuáles son las acciones en aula indicadas desde el modelo de la Escuela Activa?

- Dewey: promover proyectos experimentales y experiencias prácticas.
- Freire: fomentar el diálogo crítico y problematizar los impactos sociales y éticos de la relatividad.

- Vygotsky: introducir la TGR apoyándose en conocimientos previos mediante andamiajes y trabajo colaborativo.

¿Cuáles son los lineamientos que rigen la educación de la ciencia en América Latina?

Se identifican tres grandes referentes:

- UNESCO: plantea la ciencia como bien común, promueve el pensamiento crítico, la interdisciplinariedad, la ciencia abierta y la sostenibilidad.
- CELAC: impulsa la cooperación regional, la movilidad académica y la formación en áreas estratégicas como energía, clima y espacio.
- Nueva Escuela Mexicana (NEM): enfatiza el humanismo, la inclusión, la equidad, la vinculación social y el uso de NTIC en la enseñanza universitaria.

Reflexiones y Conclusiones

Los hallazgos se presentan en forma de síntesis temática por categoría, cruzando ejes teóricos y normativos, para facilitar el producto de los análisis.

133

Reflexiones

En la Tabla 1 se analiza cómo el pensamiento complejo, la transposición didáctica y el aprendizaje significativo se vincula con los principios de la escuela activa.

Tabla 1. Relación entre categorías teóricas y la Escuela Activa

Categoría Teórica	Aportes principales	Conexión con Escuela Activa (Dewey, Freire, Vygotsky)	Ejemplo en enseñanza de TGR
Pensamiento Complejo (Morin)	Principios: sistémico, hologramático, dialógico, incertidumbre.	Se articula con “aprender haciendo” y la visión transdisciplinaria de la Escuela Activa.	Uso de simulaciones y proyectos colaborativos que relacionan fenómenos cósmicos con aplicaciones como el GPS.
Transposición Didáctica (Chevallard)	Conversión del saber sabio (ecuaciones de Einstein) en saber enseñado.	Vygotsky: andamiajes para progresión conceptual; Freire: diálogo crítico sobre el sentido del conocimiento.	Explicar la dilatación temporal con metáforas como la sábana elástica, antes de formalizar con geometría diferencial.
Aprendizaje Significativo (Ausubel)	Importancia de conocimientos previos y organizadores conceptuales.	Dewey: proyectos experimentales; Vygotsky: ZDP; Freire: construcción crítica del significado.	Partir de la gravedad newtoniana y anclar conceptos de curvatura espaciotemporal con ejemplos como el eclipse de 1919.

En la Tabla 2 se analiza cómo el pensamiento complejo, la transposición didáctica y el aprendizaje significativo se conectan con las políticas educativas internacionales, nacionales y regionales.

Tabla 2. Relación entre categorías teóricas y Políticas Públicas

Categoría Teórica	Aportes principales	Vinculación con políticas públicas (UNESCO, CELAC, NEM)	Ejemplo en enseñanza de TGR
Pensamiento Complejo (Morin)	Integra diversas dimensiones del conocimiento.	UNESCO: interdisciplinariedad y ciencia como bien común; CELAC: cooperación regional; NEM: enfoque humanista.	Diseñar cursos que vinculen relatividad con filosofía, cultura y sostenibilidad.
Transposición Didáctica (Chevallard)	Define criterios para seleccionar y adaptar contenidos.	NEM: equidad e inclusión en los currículos; CELAC: movilidad académica y formación en áreas estratégicas.	Selección curricular de temas centrales como el GPS o los agujeros negros, para programas latinoamericanos.
Aprendizaje Significativo (Ausubel)	Facilita comprensión estable desde conocimientos previos.	UNESCO: promover pensamiento crítico; NEM: uso de NTIC; CELAC: formación en ciencia estratégica.	Empleo de materiales digitales y organizadores conceptuales que apoyen la comprensión de la relatividad.

134

En la Tabla 3, desde un enfoque superior se conceptualizan las intersecciones entre los ejes teóricos y normativos y se presenta una síntesis para cada categoría teórica.

Tabla 3. Matriz integradora de ejes teóricos y ejes normativos

Categoría Teórica	Escuela Activa	Políticas Públicas	Síntesis
Pensamiento Complejo	Promueve la experimentación, el diálogo y el trabajo en proyectos.	Responde al llamado de la UNESCO y CELAC a integrar interdisciplinariedad y cooperación.	Articula teoría, práctica y contexto social en la enseñanza de TGR.
Transposición Didáctica	Conecta andamiajes y diálogo crítico en el aula.	Informa currículos inclusivos y contextualizados según NEM.	Favorece la accesibilidad del saber científico sin pérdida de rigor.
Aprendizaje Significativo	Anclaje en conocimientos previos, aprendizaje colaborativo.	Se vincula con el fomento de NTIC y pensamiento crítico en la UNESCO y NEM.	Asegura comprensión profunda y estable de conceptos de relatividad.

Conclusiones

1. Los ejes de análisis utilizados logran articular en sus cruces, un modelo analítico que supera la enseñanza fragmentada de la TGR y promueve experiencias significativas, críticas y transformadoras, en línea con UNESCO, CELAC y la Nueva Escuela Mexicana.
2. La discusión enfatiza la relevancia de estos cruces para construir un modelo analítico de enseñanza-aprendizaje aplicable a la educación universitaria en ciencias.
3. La revisión documental decanta un mapa interpretativo que facilita comprender cómo los marcos teóricos dialogan con políticas públicas y modelos pedagógicos.
4. Se propone así un espacio de reflexión que oriente la innovación educativa y el diseño de experiencias significativas para la enseñanza de la teoría general de la relatividad y otras ciencias complejas.

Referencias bibliográficas

- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento: Una perspectiva cognitiva*. Paidós.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Educational psychology: A cognitive view* (2.^a ed.). Holt, Rinehart & Winston.
- Bowen, G. A. (2009). *Document analysis as a qualitative research method*. *Qualitative Research Journal*, 9(2), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Carroll, S. (2004). *Spacetime and geometry: An introduction to general relativity*. Addison-Wesley.
- CELAC. (2014, 2020). *Plan de acción en ciencia, tecnología e innovación*. CELAC.
- Cellard, A. (1997). *La investigación cualitativa: Enfoques epistemológicos y metodológicos*. McGraw-Hill.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*. Aique Grupo Editor.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and education*. Macmillan.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Macmillan.
- D’Inverno, R. (1998). *Introducción a la relatividad general*. Alianza Editorial.
- Einstein, A. (1916). *La teoría de la relatividad especial y general*. [Diversas ediciones].

- Flick, U. (2015). *Introducción a la investigación cualitativa* (4.^a ed.). Morata.
- Freire, P. (1969). *La educación como práctica de la libertad*. Siglo XXI.
- Freire, P. (2005). *Pedagogía del oprimido* (30.^a ed.). Siglo XXI. (Obra original publicada en 1970).
- Gadamer, H.-G. (1993). *Verdad y método* (Vol. 1). Sígueme.
- Hartle, J. (2003). *Gravity: An introduction to Einstein's general relativity*. Addison-Wesley.
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.
- Misner, C. W., Thorne, K. S., & Wheeler, J. A. (1973). *Gravitation*. W. H. Freeman.
- Morin, E. (2005). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Schutz, B. (1985). *A first course in general relativity*. Cambridge University Press.
- Schutz, B. (2009). *Un primer curso de relatividad general*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). (2019). *Nueva Escuela Mexicana: Principios y orientaciones*. SEP.
- Strauss, A., & Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa: Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Universidad de Antioquia.
- UNESCO. (1998). *Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI: Visión y acción*. UNESCO.
- UNESCO. (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*. UNESCO Publishing.
- UNESCO. (2021). *Reimaginar juntos nuestros futuros: Un nuevo contrato social para la educación*. UNESCO.
- Vygotsky, L. S. (1934/1993). *Pensamiento y lenguaje*. Paidós.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wald, R. M. (1984). *General relativity*. University of Chicago Press.