

**Gobernanza de la transición a la electromovilidad.
Análisis multinivel de tensiones sociotécnicas ***

**Governança da transição para a eletromobidade.
Análise multinível das tensões sociotécnicas**

***Transition Governance to Electromobility.
A Multi-Level Analysis of Socio-Technical Tensions***

Lourdes Marquina-Sánchez  y Lourdes Álvarez-Medina  **

El objetivo de esta investigación es analizar las tensiones sociotécnicas de la gobernanza multinivel hacia la electromovilidad. En el artículo se afirma que las decisiones estratégicas de los actores involucrados en la gobernanza multinivel generan tensiones sociotécnicas al régimen del vehículo de combustión interna (VCI) para su transición al vehículo eléctrico (VE), desde los niveles de paisaje y de nicho. Es una investigación cualitativa que usó la técnica de análisis documental para la revisión de literatura sobre gobernanza de transiciones sociotécnicas y literatura gris. La investigación se sustentó en el marco analítico de la perspectiva multinivel de sistemas sociotécnicos de Geels y Schot (2007) y de Geels (2014) para investigar las tensiones de la gobernanza en la transición. Se encontró que las estrategias de poder que despliegan los actores involucrados en los niveles de paisaje, de nicho y de régimen provocan tensiones sociotécnicas de naturaleza instrumental, discursiva, material e institucional en la gobernanza de la transición al VE. Los actores de régimen responden con estrategias de resistencia y adaptación. Se concluye que el vehículo híbrido es una innovación de transición que ralentiza la transición al VE cero emisiones. Se halló la coexistencia de dos modelos de gobernanza: uno político y otro de gestión.

13

Palabras clave: transiciones sociotécnicas; electromovilidad; tensiones sociotécnicas; gobernanza; sistemas sociotécnicos

* Recepción del artículo: 12/07/2025. Entrega del dictamen: 19/08/2025. Recepción del artículo final: 19/12/2025.

** *Lourdes Marquina-Sánchez*: profesora-investigadora en la Academia de Ciencia Política y Administración Urbana, Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Doctora en ciencias políticas y sociales por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2124-2346>. Correo electrónico: lourdes.marquina@uacm.edu.mx. *Lourdes Álvarez-Medina*: profesora-investigadora en la División de Investigación de la Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Doctora en administración de organizaciones por la UNAM. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1616-2034>. Correo electrónico: malvarez@fca.unam.mx.

Esta pesquisa visa analisar as tensões sociotécnicas inerentes à governança multinível da transição para a eletromobilidade. O artigo argumenta que decisões estratégicas tomadas por atores envolvidos na governança multinível geram tensões sociotécnicas —originadas nos níveis de paisagem e de nicho— que impactam o regime de veículos com motor de combustão interna (ICEV) durante sua transição para veículos elétricos (VEs). Este estudo qualitativo utilizou a análise documental para revisar a literatura sobre a governança de transições sociotécnicas, bem como a literatura cinzenta. A pesquisa fundamentou-se no quadro analítico da perspectiva multinível sobre sistemas sociotécnicos, desenvolvido por Geels e Schot (2007) e Geels (2014), para investigar as tensões de governança durante a transição. Os resultados revelam que estratégias de poder empregadas por atores nos níveis de paisagem, nicho e regime geram tensões sociotécnicas de natureza instrumental, discursiva, material e institucional no processo de governança da transição para VEs. Os atores do regime respondem com estratégias de resistência e adaptação. O estudo conclui que o veículo híbrido atua como uma inovação de transição que retarda a mudança para VEs de emissão zero. Além disso, identificou-se a coexistência de dois modelos de governança: um político e outro gerencial.

Palavras-chave: transições sociotécnicas; eletromobilidade; tensões sociotécnicas; governança; sistemas sociotécnicos

This research aims to analyze the socio-technical tensions in multi-level governance transition to electromobility. The article argues that strategic decisions made by actors involved in multi-level governance generate socio-technical tensions —originated at the landscape and niche levels— that impact the internal combustion engine vehicle (ICEV) regime, during its transition to the electric vehicle (EV). This qualitative study employed document analysis to review literature of socio-technical governance transitions, as well as grey literature. The research was grounded in the analytical framework of the multi-level perspective on socio-technical systems developed by Geels and Schot (2007) and Geels (2014) to investigate tensions in governance transition. The findings reveal that the nature of socio-technical tensions deployed by actors as power strategies at the landscape, niche, and regime levels are instrumental, discursive, material, and institutional in the transition governance to EVs. Regime actors respond with strategies of resistance and adaptation. The study concludes that the hybrid vehicle acts as a transitional innovation that slows the shift toward zero-emission EVs. Furthermore, two governance models —one political and one managerial— were identified.

Keywords: socio-technical transitions; electromobility; socio-technical tensions; governance; socio-technical systems

Introducción

Los modelos de vehículos eléctricos (VE)¹ y de combustión interna (VCI) han competido desde el siglo XIX. La selección tecnológica del motor de combustión interna impulsado por combustibles fósiles derivados del petróleo —gasolina y diésel— fue resultado de dinámicas institucionales en el mercado y la política relacionadas con los sectores automotriz, acerero, de hidrocarburos y financiero, para fomentar el consumo masivo del VCI, mediante políticas públicas de bienestar social (Freysenet, 2009). El régimen sociotécnico automotriz basado en el VCI se configuró mediante la adopción de estándares tecnológicos y normas técnicas a nivel mundial. Se diseñaron políticas públicas para el desarrollo de infraestructura, ocasionando nuevas formas de urbanización y se formó el capital humano necesario para la producción masiva y comercialización del VCI. El marco institucional de las políticas estimuló el incremento de la producción en los sectores mencionados, mientras que los desarrollos tecnológicos basados en electricidad siguieron una trayectoria distinta en forma de tranvías y trolebuses.

Los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS) han mostrado cómo las decisiones sobre los diseños tecnológicos dominantes² están insertas en entramados político-institucionales que reflejan su coevolución. Kemp, Schot y Hoogma sostienen que “el cambio tecnológico está bloqueado dentro de regímenes tecnológicos dominantes” (1998, p. 175) y que su transición hacia la configuración de nuevos regímenes depende del diseño de estrategias de nicho basadas en innovaciones tecnológicas más eficientes y sustentables.

15

El VCI entró en crisis hacia finales del siglo XX debido a la finitud y las fluctuaciones del precio del petróleo, así como por el consenso internacional sobre el cambio climático (Antal, 2004). El calentamiento de la atmósfera terrestre ha motivado que actores de nicho, en coordinación con actores de paisaje y de régimen, impulsen la movilidad eléctrica mediante la adopción masiva de VE (Álvarez-Medina & Marquina-Sánchez, 2023b) para alcanzar objetivos mundiales de descarbonización. Sin embargo, la transición del régimen sociotécnico del VCI al VE ha sido lenta, pues, si bien se han desarrollado diversas soluciones tecnológicas, aún se disputa la adopción del diseño tecnológico dominante que asegure mayor sustentabilidad en todo el ciclo de vida del VE.

La gobernanza de las transiciones sociotécnicas sustentables (Smith, Stirling & Berkhout, 2005) argumenta que existen contextos diferenciados que determinan la forma y dirección de la transición, entendida como cambios sistémicos de gran

¹ En este artículo se estudia a los vehículos automotores ligeros eléctricos (VE) que pueden ser vehículos eléctricos híbridos (VEH), vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE), o vehículos 100% eléctricos que funcionan a base de baterías (VEB) o de celdas de hidrógeno (VECH).

² Un diseño tecnológico dominante es aquel que se convierte en estándar internacional para su adopción generalizada. Los fabricantes y consumidores lo adoptan porque tiene ventajas: mayor eficiencia, menor costo e infraestructuras de apoyo para su operación. Otros productos y servicios, así como la infraestructura, se diseñan para ser compatibles con el diseño dominante.

complejidad, y procesos de larga duración en los que intervienen múltiples actores (Geels, 2011), en los niveles de nicho, paisaje y régimen (Geels, 2002, 2004, 2005).

El diseño teórico-metodológico de esta investigación se fundamentó en la gobernanza de las transiciones sociotécnicas a la sustentabilidad, apoyándose en la perspectiva multinivel. Se formuló la siguiente pregunta: ¿cómo se desarrolla la gobernanza de la transición sociotécnica del VCI al VE? El objetivo fue analizar el tipo de tensiones sociotécnicas en la gobernanza de la transición del VCI al VE, identificando actores relevantes, sus roles y estrategias de poder que despliegan en los niveles de paisaje, de nicho y de régimen para influir y/o tomar decisiones legitimadas socialmente en el proceso político de esta transición.

El estudio argumenta que las estrategias de actores relevantes en el nivel de paisaje y de nicho generan tensiones al régimen sociotécnico del VCI, cuyos actores despliegan estrategias de resistencia para evadir y retrasar la transición al VE. Se definió un marco analítico para el análisis de la gobernanza multinivel que permitiera comprender la dinámica socioinstitucional y política de las interacciones entre los niveles de paisaje, de nicho y de régimen, basado en el enfoque de transiciones sociotécnicas.

Además de la introducción, el trabajo está dividido en cinco secciones. En la primera, se desarrolla un marco teórico sobre la gobernanza de transiciones sociotécnicas a la sustentabilidad, desde la perspectiva multinivel. En la segunda, se expone la metodología. La tercera organiza los resultados de la investigación en función de los niveles analíticos propuestos y la tipología de tensiones encontradas. La cuarta sección discute las tensiones generadas y las respuestas de los actores desde su aporte a la gobernanza multinivel de la transición sociotécnica del VE. En última sección se presentan las conclusiones.

16

1. Gobernanza multinivel de transiciones sociotécnicas a la sustentabilidad

La gobernanza es un concepto que permite analizar la complejidad de las dinámicas socioinstitucionales y de poder de los sistemas políticos y de gestión, al trascender la forma lineal y convencional de intervención del Estado, basada en la jerarquía y el control. La gobernanza alude a la deliberación, coordinación y toma de decisiones sobre lo público, en cuyos procesos participan actores diversos para influir y dar direccionalidad a los sistemas sociopolíticos y económicos. En las arenas de participación decisionales hay disputas e interpretaciones diferentes sobre las estrategias orientadas al bien público. El papel articulador del Estado es crucial para movilizar las capacidades y los recursos de los sistemas sociales; impulsar alianzas y liderar procesos sociales hacia el equilibrio de fuerzas para procurar la estabilidad y desarrollo de las sociedades. La complejidad de estas interacciones radica en la heterogeneidad de los agentes sociales, su coevolución con las instituciones y los contextos de incertidumbre y tensión en que se desarrollan sus relaciones. Los agentes formulan estrategias diversas y ambiguas, no siempre coherentes, ya que actúan desde posiciones y roles variables, para impulsar el cambio y adaptarse a las estructuras sociales emergentes.

1.1. Sistemas sociotécnicos

El régimen tecnológico hace referencia al entorno de conocimientos tecnológicos específicos en el que las organizaciones realizan sus actividades para la resolución de problemas industriales, de mercado y socioambientales, dentro de un marco institucional establecido entre los actores involucrados. El reconocimiento de que las tecnologías se desarrollan no solo por factores de carácter técnico, sino por un entramado de acuerdos y arreglos institucionales entre científicos y tecnólogos, empresas, gobiernos, organizaciones internacionales y de la sociedad civil, motivó el desarrollo conceptual de los regímenes sociotécnicos para analizar de manera sistemática las dinámicas socioinstitucionales y de poder involucradas en los regímenes tecnológicos.

Geels (2002), basado en la conceptualización de régimen tecnológico de Nelson y Winter (1982), apunta que un régimen sociotécnico es un conjunto de reglas que orientan las actividades de los diversos actores sociales que logran coordinarse buscando la estabilidad del régimen para su reproducción. El régimen sociotécnico es un espacio de rutinas cognitivas y reglas compartidas por distintos actores dentro de una comunidad relacionada con una combinación de tecnologías e infraestructuras. Se forma por vínculos institucionales que constituyen una red compleja de elementos interdependientes y relaciones sociales, abarcando el diseño, la producción, la difusión y el uso de las tecnologías. La estabilidad del régimen es el resultado de acuerdos y estrategias entre actores relevantes que generan y reproducen un marco institucional y cultural compartido. Los actores de régimen se organizan en alianzas público-privadas como hacedores de políticas públicas logrando consensos y legitimidad.

17

Un sistema sociotécnico cumple funciones sociales y permanece estable durante cierto tiempo (Geels, 2004); sin embargo, experimenta cambios paulatinos en el tiempo y, en ocasiones, transformaciones significativas que lo sustituyen. Las transiciones sociotécnicas son coevoluciones en las que los cambios son asimilados por dinámicas socioinstitucionales, prácticas y rutinas organizacionales que se retroalimentan para que se difundan las innovaciones radicales y ocurran las transformaciones estructurales del nuevo régimen (Grin, Rotman & Schot, 2010). En los períodos de desestabilización y transición, los actores de régimen no se adaptan pasivamente a las nuevas circunstancias, sino que son capaces de jugar con ellas y las utilizan estratégicamente (Crozier & Friedberg, 1990). Los actores de régimen responden activando diversos recursos de poder para resistir o retrasar la transición del cambio de régimen sociotécnico.

El régimen sociotécnico es una herramienta conceptual que recupera la dinámica del poder en su relación con las innovaciones tecnológicas, el mercado, la política y la cultura (Geels, 2002). Los regímenes sociotécnicos son “mecanismos de selección y retención” de las innovaciones tecnológicas (Geels, 2002, p. 1260), sean incrementales o radicales. Las estrategias que llevan a cabo los distintos actores sociales para la reproducción del régimen y su transición se relacionan con el avance científico-tecnológico, el despliegue de infraestructuras, las decisiones políticas y empresariales, así como con la construcción simbólica y cultural de significados que

moldean las percepciones y preferencias de los actores que forman parte del régimen, o influyen en él para su transformación.

1.2. Gobernanza de sistemas sociotécnicos y su transición a la sustentabilidad

La gobernanza de sistemas sociotécnicos se entiende como las diversas formas en que los agentes interactúan de manera intencional, deliberada y reflexiva para influir, promover o inhibir los procesos de transformación (Borrás & Edler, 2020). La premisa básica consiste en que la acción racional de la política pública puede influir en la direccionalidad y velocidad de las innovaciones tecnológicas, generando cambios en los eslabones o etapas del sistema sociotécnico, ya sea para la estabilidad y reproducción del régimen tecnológico vigente o bien, para acelerar su transición — paulatina o acelerada— hacia un nuevo régimen sociotécnico con nuevas trayectorias tecnológicas.

Sustentados en el nuevo institucionalismo, Borrás y Edler (2014) reconocen que los agentes se relacionan y actúan en contextos institucionales específicos que orientan sus preferencias y decisiones. Afirman que el cambio se da cuando existen estructuras de oportunidad en que la tecnología coevoluciona con las instituciones, entendidas como reglas, normas, legislaciones, políticas, normas técnicas, marcos cognitivos y culturales que influyen en los actores relevantes, quienes, en ambientes de tensión, negocian la definición de los problemas y las soluciones, así como las formas de adaptación y los tiempos de adopción del cambio. La capacidad de los agentes sociales es fundamental para impulsar u obstaculizar el cambio de régimen sociotécnico. Los autores sostienen que, en la gobernanza de la transición de sistemas sociotécnicos, el Estado tiene un papel activo (Borrás & Edler, 2020). La gobernanza del cambio en los sistemas sociotécnicos busca responder preguntas relativas a quién y qué es lo que genera el cambio de régimen; cómo ocurre y qué sostiene su legitimidad (Borrás & Edler, 2014).

El enfoque de las transiciones a la sustentabilidad es un proceso continuo de cambios que reorientan y reestructuran los sistemas sociales hacia sistemas que satisfacen los valores de la sustentabilidad en sus dimensiones económica, ambiental y social. Su gobernanza implica la inclusión de variadas interpretaciones, la representación de diversos intereses, valores y símbolos que crean espacios para la experimentación, la innovación y el aprendizaje. El estudio de las transiciones se focaliza en comprender las dinámicas del cambio, los roles de los agentes y cómo la diversidad de los elementos (humanos y no humanos) interaccionan para influir en la transición. En el proceso de gobernanza de las transiciones los agentes discuten, negocian, exploran e imponen sus perspectivas y directivas para direccionar la transformación en el corto, mediano y largo plazos. La discusión teórica sobre transiciones hacia la sustentabilidad enfatiza en el papel que tienen los nichos tecnológicos para la transformación de los regímenes sociotécnicos.

Loorbach (2010) propone la gestión de las transiciones como un nuevo enfoque de la gobernanza para el desarrollo sustentable, que conlleva una nueva cultura política, al considerar que en las redes de innovación participan los negocios, el gobierno, los científicos y tecnólogos, así como la sociedad civil, compartiendo visiones y valores

que entran en oposición, conflicto y potencial negociación, con las redes del régimen dominante. Loorbach alude a las actividades reflexivas de la gobernanza que implican aprendizajes sociales que previenen el cierre de los procesos, permitiendo su apertura y discusión para la exploración de nuevas ideas y trayectorias. Su rol fundamental está en los aprendizajes generados, así como en influir en la opinión pública mediante la divulgación de cierta información que permita mantener abiertos los sistemas sociotécnicos para su coevolución socioinstitucional y legitimidad social.

Smith, Stirling y Berkhout afirman que la transformación de los regímenes sociotécnicos “no es un proceso monolítico dominado por la acción racional” de los actores (2005, p. 1492), pues existen diferencias importantes de contexto que influyen en la dinámica de las transiciones sociotécnicas y su gobernanza. El papel de la agencia en la gobernanza centra el análisis en la coordinación de actores y dirección de recursos y capacidades requeridos para la transformación del régimen sociotécnico, así como en las expectativas sociales. Smith y Stirling (2007) distinguen dos tipos ideales de gobernanza en los procesos de cambio sociotécnico: uno relacionado con la gestión del proceso y otro de carácter político. Concluyen que, en ambos modelos de gobernanza, hay tensiones que ocurren en el devenir de las transiciones sociotécnicas, sin ser modelos excluyentes.

Kovacic y Benini (2022) reconocen los límites de la gobernanza en las transiciones a la sustentabilidad. Asumen que las transiciones generan oportunidades y retos para nuevos marcos institucionales. Desde un enfoque de complejidad e incertidumbre señalan que: a) existen límites a la gobernanza; b) la selección de instrumentos de políticas públicas y su contenido, pueden entrar en tensión con la posibilidad de generar espacios más amplios de inclusión y pluralidad para su legitimación; y c) las decisiones para resolver problemas públicos de índole sociotécnica pueden provocar tensiones por las latencias sistémicas que emergen, generando debates y controversias sociotécnicas en torno a nuevas problemáticas.

19

1.3. Perspectiva multinivel de los sistemas sociotécnicos

La perspectiva multinivel (PMN) de los sistemas sociotécnicos es una teoría de rango medio desarrollada para comprender las transiciones del cambio tecnológico (Geels & Schot, 2007). Combina conceptos de la economía evolucionista, como las rutinas, las trayectorias, los regímenes y los nichos tecnológicos, con los conceptos provenientes del campo CTS relacionados con los sistemas sociotécnicos y las redes de actores, asumiendo una ontología sin distinción apriorística entre tecnología y sociedad (Lepratte *et al.*, 2015), pues las innovaciones se construyen socialmente. La PMN retoma las aportaciones de las teorías sociológicas de la estructuración y del neoinstitucionalismo, al sostener que las innovaciones tecnológicas coevolucionan con las instituciones.

El enfoque multinivel asume que las innovaciones tecnológicas son procesos institucionales y socioculturales que se configuran por las interacciones entre los actores heterogéneos involucrados en el cambio tecnológico. Pese a las críticas, la PMN se ha posicionado como marco analítico para comprender las transiciones sociotécnicas hacia la sustentabilidad, entendiéndolas como procesos no lineales que

se configuran en etapas a lo largo del tiempo, a partir del juego de fuerzas estructurantes y desestructurantes entre actores relevantes.

La tipología de transiciones sociotécnicas propuesta por Geels y Schot (2007) considera tres niveles analíticos:

- i) El paisaje refiere a los factores externos que influyen en los sistemas socio-técnicos, cuyos elementos están fuera del control de los actores relevantes. Geels (2002) sostiene que las trayectorias tecnológicas están situadas en paisajes sociotécnicos. La metáfora del paisaje es para mostrar la fuerza que tienen los factores de este nivel en la conformación o transición del régimen sociotécnico, como podrían ser el cambio climático, los precios del petróleo, las tendencias macroeconómicas, el ritmo del crecimiento económico, las migraciones internacionales, los cambios demográficos, las guerras, las alianzas políticas y económicas, las declaraciones y acuerdos de organismos internacionales, los valores y patrones culturales, así como los problemas socioambientales. Dicho nivel puede interpretarse como el contexto del régimen o de su transición sociotécnica. Estos factores impulsan el cambio de los sistemas sociotécnicos, teniendo repercusiones en los otros dos niveles.
- ii) El régimen es un sistema sociotécnico “dinámicamente estable” (Geels & Schot, 2007, p. 401), constituido por marcos cognitivos, prácticas establecidas e instituciones que delimitan y restringen el comportamiento de los actores relevantes, en relación con el sistema dominante que ha logrado satisfacer necesidades y expectativas socioeconómicas, madurando trayectorias tecnológicas en el tiempo. Se caracteriza por ser un espacio social de resistencia hacia transformaciones radicales. Esto resulta de la estabilidad de las instituciones que lo sostienen; la trayectoria de la organización industrial y la estructura de los mercados; las empresas incumbentes e intereses incrustados en las dinámicas sociales; la infraestructura existente; la permanencia y reproducción de las prácticas e interacciones sociales entre sectores productivos maduros; así como por la rentabilidad de las tecnologías dominantes involucradas. En este nivel están las empresas incumbentes y sus asociaciones, los gobiernos, los grupos de usuarios de la tecnología y, desde luego, los desarrolladores tecnológicos que introducen innovaciones incrementales al mercado, para la dinámica y continuidad del régimen dominante. El régimen es desestabilizado por los nichos tecnológicos y por las presiones del paisaje, creando ventanas de oportunidad para las innovaciones radicales.
- iii) Los nichos tecnológicos son el nivel donde se ubican las innovaciones radicales como espacios emergentes protegidos que escudan las novedades de la competencia. Permanecen en una etapa de experimentación mediante proyectos piloto y demostraciones de baja escala, en mercados pequeños con necesidades tecnológicas específicas. De los nichos emergen las oportunidades y los nuevos modelos de negocio que desestabilizan al régimen tecnológico vigente y lo presionan para su transición a uno nuevo, capaz de seleccionar y difundir las innovaciones tecnológicas emergentes para configurar nuevas trayectorias tecnológicas en coevolución con un marco institucional y organizacional que asimile las nuevas tecnologías.

Para Fischer y Newig (2016), el cambio de régimen tecnológico se explica por la interrelación que existe entre las innovaciones tecnológicas en el nivel de los nichos, las resistencias del régimen, y las presiones de los actores del paisaje que tensan al régimen vigente para su transformación hacia nuevas trayectorias tecnológicas. La interacción entre el paisaje, el régimen y los nichos promueve la transición del régimen, siempre y cuando las innovaciones de los nichos sean útiles y viables, y se alineen los intereses del paisaje y del régimen, al impulso de los nichos tecnológicos. El enfoque de transiciones sociotécnicas reconoce que las innovaciones tecnológicas en un sector pueden influir en la dinámica de otros sectores debido a la convergencia tecnológica e industrial.

2. Metodología

Es una investigación cualitativa basada en la técnica de análisis documental. El estudio se enfoca en el análisis multinivel de la gobernanza de la transición sociotécnica del VCI al VE, a partir de tipificar las tensiones que generan en el nivel del régimen, los agentes de nicho y de paisaje, así como de identificar y caracterizar las respuestas estratégicas que despliegan los actores de régimen para acelerar o frenar el cambio de régimen sociotécnico.

Para la revisión de literatura científica sobre sistemas sociotécnicos y su gobernanza, se procedió a su delimitación seleccionando conceptos apropiados para la identificación de las tensiones en las transiciones sociotécnicas. Los primeros criterios de búsqueda establecidos fueron: *electric vehicle*, *electromobility*, *socio-technical systems*, *governance*. Posteriormente, se combinaron comandos de búsqueda usando el operador booleano “AND” para combinar conjuntos de conceptos, y “OR” para separarlos dentro del mismo grupo.

21

En la revisión de literatura sobre sistemas sociotécnicos se encontraron estudios relacionados con las transiciones sociotécnicas, en particular hacia la sustentabilidad. Se leyeron 106 resúmenes, identificando metodologías, como las de Geels con sus colaboradores. De esta manera se procedió a combinar los términos “*multilevel governance*” AND “*sociotechnical transitions*” para la problematización de la transición sociotécnica del VE desde la gobernanza multinivel. La búsqueda de la literatura se realizó en repositorios y bases de datos de ciencia abierta como DOAJ, Google Scholar, Redalyc, ResearchGate y Academia. Los términos de búsqueda fueron en inglés y español.

Para el análisis de la gobernanza de la transición, se recuperó la perspectiva multinivel de sistemas sociotécnicos de Geels (2002, 2004) y Geels y Schot (2007). Los tres niveles de la gobernanza representan los campos de acción en los que los actores relevantes se posicionan estratégicamente (Crozier & Friedberg, 1990) para influir en la direccionalidad y velocidad del cambio sociotécnico. De acuerdo con Geels (2014), se clasificaron las estrategias de los agentes como actuaciones de poder, generando fuerzas de tensión de tipo instrumental, discursivo, material e institucional, identificándose en esta clasificación las resistencias y adaptaciones al cambio de régimen sociotécnico, por parte de los actores de régimen. La **Tabla 1** sintetiza el marco analítico propuesto en esta investigación.

Tabla 1. Tensiones sociotécnicas en la gobernanza multinivel de transiciones a la sustentabilidad

Niveles analíticos de la gobernanza	Tipo de tensiones que generan las estrategias de poder de los agentes			
	Instrumental	Discursiva	Material	Institucional
	Capacidades relacionales: alianzas; foros; negociaciones, medios masivos de comunicación Recursos organizacionales: autoridad, monetarios y de conocimiento	Recursos simbólicos e ideacionales: principios, valores culturales, ideas, sustentabilidad Marcos cognitivos: visiones alternativas; debates públicos; controversias	Capacidades tecnológicas para la innovación y la sustentabilidad: desarrollo y difusión de tecnologías del VE Innovaciones incrementales del VCI	Acuerdos internacionales Políticas públicas de CTI y sustentabilidad Estándares y normas Mecanismos y fondos verdes de cambio climático
Paisaje: factores externos de contexto que presionan al régimen sociotécnico				
Nicho: innovaciones radicales como factores endógenos que desestabilizan al régimen sociotécnico para su evolución				
Estrategias de resistencia y adaptación a la transición sociotécnica				
Régimen: prácticas, rutinas y esquemas cognitivos compartidos, expresados en instituciones que delimitan y restringen el comportamiento de los actores				

Fuente: elaboración propia

La técnica documental se utilizó también para la selección y revisión de literatura gris. El criterio de selección se basó en los principales países que cuentan con marcas propias automotrices y son pioneros y líderes en el desarrollo tecnológico de vehículos ligeros. Se consideraron actores relevantes de la triada (Estados Unidos, Europa y Japón) debido a sus trayectorias tecnológicas, sus cuotas de participación en el mercado automotriz y su influencia en el régimen del VCI y su transición hacia el VE. Se incluyó a China por ser líder mundial en la producción de VE.

La obtención de la información sobre los agentes de mercado se obtuvo de reportes anuales que difunden organizaciones internacionales expertas, consideradas como autoridad en la generación de conocimiento especializado sobre vehículos eléctricos, sector automotriz y energético. Asimismo, se visitaron los sitios web de las empresas automotrices líderes en el mercado de los VE.

3. Resultados

3.1. Tensiones provocadas desde el nivel del paisaje y estrategias de los actores de régimen

En este nivel se observan tensiones discursivas impulsadas por movimientos sociales ambientalistas desde la década de los años 60, ante la creciente urbanización e industrialización en países en desarrollo, influyendo en la opinión pública para presionar a gobiernos y empresas a comprometerse con el cuidado del medioambiente. Los organismos internacionales del sistema de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) abogaron a favor del medioambiente y del cambio de valores culturales hacia el desarrollo sustentable.

23

La realización de la primera Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en 1972 en Estocolmo, fue una estrategia institucional que puso en el debate público mundial el problema del deterioro ambiental ocasionado por los métodos de producción industrial y de transportación basados en energías fósiles, altamente dependientes del petróleo. El Informe Brundtland, emitido en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, fue un recurso instrumental que influyó en los marcos cognitivos para la configuración del contexto sociotécnico orientado a la sustentabilidad.

Ante las tensiones ocasionadas por los actores sociales e institucionales en el nivel del paisaje, el gobierno estadounidense respondió con estrategias de tipo institucional e instrumental. En el Estado de California —de tradición demócrata— se decretó en 1967 el Acta Federal de Calidad del Aire en la que se regularon por vez primera las emisiones contaminantes a la atmósfera. En 1970, se emitió la Ley Nacional de Política Ambiental (NEPA) que contempló la creación de agencias federales para generar información especializada que respaldara la toma de decisiones en materia de política ambiental (Edwards, 2025). En ese mismo año, la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos activó su recurso de poder autoritativo para desplegar una estrategia de tipo institucional y de adaptación hacia la sustentabilidad, al emitir

estándares técnicos para el control de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), eludiendo la regulación de emisiones de CO₂.

Los fabricantes de automóviles reaccionaron con estrategias de resistencia discursiva al negarse a aceptar la total responsabilidad del VCI en la afectación ambiental y salud humana, apelando al principio de responsabilidad compartida entre grupos de interés (Marquina-Sánchez & Álvarez-Medina, 2017). Argumentaron haber realizado innovaciones tecnológicas en los modelos de VCI desde los años 70, adoptando estándares técnicos sobre emisiones. Desplegaron estrategias adaptativas de tipo instrumental y material al destinar recursos a la investigación y desarrollo tecnológico (ID). A partir de 1975 incorporaron innovaciones al motor de combustión interna como el convertidor catalítico; el encendido electrónico y mayor eficiencia energética (Shigeta & Hosseini, 2021). Estas innovaciones incrementales permitieron la reproducción del régimen del VCI para seguir explotando las tecnologías e infraestructuras existentes, al tiempo que se diseñaron para responder a las presiones ambientalistas.

Como actor político de régimen, el gobierno japonés inició en 1971 el proyecto nacional para el desarrollo del VE al considerarlo como ventana de oportunidad para ingresar con marcas propias en ese mercado. El proyecto consistió en realizar actividades de ID en baterías, motores y chasis, así como para diseñar y producir modelos experimentales de VE en pruebas piloto. El proyecto duró varios años y se realizó en coordinación con organizaciones de nicho vinculadas al VE. Dicho proyecto tuvo una interseccionalidad con otro proyecto nacional relacionado con el sistema de almacenamiento energético de baterías (Takahashi, 1982).

24

En 1990, en los albores de la Cumbre Mundial de la Tierra, celebrada en 1992 en Río de Janeiro, la ONU puso en la agenda pública mundial la importancia de fabricar vehículos de cero emisiones. Esta estrategia de tipo discursivo por parte de la ONU impulsó el debate público sobre la electromovilidad al considerar al VE como la solución tecnológica adecuada para mejorar la calidad del aire en las ciudades, pues existen registros de los graves problemas de contaminación ambiental ocasionados por el VCI (California Air Resources Board - CARB, 2022).

Por su parte, la industria automotriz, del petróleo y sus derivados, en tanto actores económicos de régimen, volvieron a reaccionar con estrategias adaptativas de tipo instrumental, invirtiendo recursos importantes para cumplir con los estándares de eficiencia de combustibles emitidos por la Corporate Average Fuel Economy (CAFE), a fin de mejorar el desempeño del VCI. Otras innovaciones tecnológicas incrementales fueron los biocombustibles que favorecen la continuidad del régimen dominante, suscitando controversias sociotécnicas por el uso de recursos biológicos.

No fue sino hasta la Convención Marco de Cambio Climático de 1992 en que se logró acordar, tras intensas negociaciones a lo largo de un lustro, la firma del Protocolo de Kyoto. El protocolo es una estrategia de poder de tipo institucional implementada en el nivel de paisaje por la coalición de gobiernos firmantes que contó con el respaldo legítimo de las negociaciones en la ONU y con la participación de la sociedad civil. El protocolo ejerció mayor presión al régimen sociotécnico del VCI al impulsar la transición

al VE, comprometiendo a las empresas automotrices a reducir las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI). Los gobiernos asumieron el compromiso de emitir regulaciones sobre los procesos productivos para lograr los objetivos de reducción de GEI, aplicando impuestos y cuotas fijas, como recursos de poder *hard law* establecidos en las legislaciones nacionales. El Protocolo de Kyoto también estableció mecanismos flexibles para realizar transacciones comerciales internacionales, configurando un incipiente mercado de emisiones de carbono (Antal, 2004). Existen diversos instrumentos financieros en torno a nuevos fondos relacionados con el cambio climático, a través de los cuales países desarrollados pueden invertir en proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo (Sosa, 2023).

En el transcurso de más de cincuenta años, se han llevado a cabo intensas negociaciones internacionales entre empresas y gobiernos con la participación de la sociedad civil y comunidades epistémicas. Como resultado de las negociaciones durante la Conferencia de las Partes (COP 21) de 2015, se firmó el Acuerdo de París. Su principal objetivo fue reducir las emisiones de GEI para limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2°C. Este acuerdo coadyuvó a que los actores de régimen, como gobiernos e industrias automotriz y energética, convinieran en dar mayor impulso a la transición a tecnologías limpias y sostenibles (Jetin, 2020), como el VE. El Acuerdo de París, el Protocolo de Kyoto, las regulaciones de nivel nacional y los estándares técnicos internacionales de disminución de emisiones GEI son estrategias de tipo institucional que, desde el nivel del paisaje, generan tensiones al régimen sociotécnico del VCI para favorecer su transición hacia el desarrollo sustentable del VE.

25

La crisis financiera internacional de 2008 fue una coyuntura que generó tensiones en la transición sociotécnica al VE. El incremento del precio del petróleo mostró la vulnerabilidad del régimen sociotécnico del VCI. En ese año, Tesla lanzó su modelo S que aún se comercializa y BYD contó con el respaldo del gobierno chino para impulsar la producción y consumo de sus VE (Álvarez-Medina & Marquina-Sánchez, 2023a).

Como actores de régimen, los fabricantes de automóviles respondieron a los compromisos internacionales activando recursos de poder instrumentales como la formación de alianzas y fusiones empresariales. Tal es el caso del nuevo grupo automotriz Stellantis, que implementa estrategias de poder de carácter material al aprovechar la acumulación de capacidades tecnológicas de los socios, para transitar al VE cero emisiones de CO₂. Stellantis es un grupo de compañías automotrices derivado de fusiones empresariales italo-franco-estadounidense cuya sede está en Países Bajos. Se fundó en enero de 2021 entre el grupo Fiat Chrysler Automobiles (FCA) y el consorcio francés Groupe PSA. Las marcas del nuevo grupo son, por la parte italo-estadounidense (FCA): Fiat, Alfa Romeo, Maserati Lancia, Abarth, Chrysler, Dodge, Jeep y Ram Trucks; por la parte francesa (PSA): Peugeot, Citroën, Opel/ Vauxhall y DS Automobiles.

Como estrategia instrumental de respuesta a las presiones del paisaje, y en consistencia con el Acuerdo de París y los Objetivos del Desarrollo Sustentable de la Agenda 2030 de la ONU, la Unión Europea (UE) implementó en 2017 el proyecto

H2020 Shape-Energy para dar legitimidad a las decisiones públicas orientadas a la descarbonización. La acción pública consistió en el despliegue de una estrategia organizacional de tipo instrumental para generar un foro de consulta pública en la plataforma Debating Europe con la pregunta: “¿Todos los coches deberían ser eléctricos en 2025?” (Ortar & Ryghaug, 2019). Si bien el debate arrojó opiniones favorables para los VE debido a su efecto en la reducción de emisiones de CO₂, también se expresaron preocupaciones en torno al alto precio de los VE, la falta de infraestructura, el rango de autonomía de los VE, el deterioro ambiental por el uso de baterías de litio, los subsidios insuficientes para la adquisición de VE, los escasos incentivos fiscales y la falta de regulaciones ambientales y de apoyo a los consumidores de VE.

Después de la consulta ciudadana, en diciembre de 2019 la Comisión Europea, bajo el primer liderazgo de la presidenta de la UE, Ursula von der Leyen decretó el European Green Deal, que busca posicionar a la UE en una trayectoria de crecimiento sustentada en la economía circular; la neutralidad climática; el uso de energías renovables y la comercialización de emisiones, para apoyar proyectos energéticos bajos en carbón (Jordan & Gravey, 2021). En 2022, el Parlamento Europeo aprobó una nueva regulación ambiental derivada del acuerdo entre la UE y la industria automotriz a fin de eliminar gradualmente la venta de VCI en ese mercado y lograr el objetivo de vehículos cero emisiones para 2035.

La formación de coaliciones entre gobiernos y actores internacionales para la coordinación de acciones en el nivel del paisaje contribuyó a legitimar las decisiones públicas relativas a las cuotas de producción para incrementar la flota vehicular de eléctricos. La UE y Japón han establecido que a partir de 2035 no se podrán vender VCI nuevos, decretando estándares con límites de consumo energético (European Commission, 2023; Wang & Matsumoto, 2022). Así, han comprometido a las empresas armadoras a fabricar VE. En China se espera que para 2035 todos los nuevos autos vendidos sean 100% eléctricos o híbridos (Álvarez-Medina & Marquina-Sánchez, 2023a). Dichas estrategias institucionales favorecen y aceleran la transición al VE.

El gobierno de Estados Unidos, durante la primera gestión de Donald Trump (2016-2020), se caracterizó por debilitar las regulaciones orientadas a la reducción y eliminación de emisiones de CO₂ y otros GEI, así como por dismantlar las instituciones de protección al ambiente, incluyendo recortes presupuestarios a la investigación científica. Inició la reforma de la National Environmental Policy Act (NEPA) que había permanecido sin actualizaciones sustanciales por más de cuatro décadas (Edwards, 2025) e incorporó en su gabinete a representantes industriales vinculados a los intereses económicos de las energías fósiles. Entre otras acciones tácticas (Loorbach, 2010), Trump intentó dismantlar el Plan de Energías Limpias propuesto por el presidente Barack Obama, que regula las emisiones de carbón desde las plantas de energía. El gobierno de Joe Biden (2020-2024) trató de remediar estas decisiones canalizando más recursos a las agencias especializadas a cargo de las políticas ambientales bajo los valores de justicia climática y retorno a la ciencia (Bomberg, 2021). Asimismo, continuó con la modernización de la NEPA relacionada con el financiamiento a proyectos de inversión ambiental, procedimientos administrativos, agencias especializadas, generación y gestión de datos e información de impacto

ambiental, así como el uso de tecnologías para automatizar procesos (Edwards, 2025). Durante su gestión se había tomado la decisión de que todos los vehículos nuevos que se vendieran a partir de 2030 serían cero emisiones (The White House, 2021a).

En su segunda administración, el presidente Trump ha utilizado estrategias discursivas que desestiman las evidencias científicas y el consenso internacional sobre los daños del modelo de crecimiento económico basado en energías fósiles. Decidió el retiro de Estados Unidos del Acuerdo de París y se apartó del liderazgo de la política internacional de cambio climático. En enero de 2025, anunció que su salida obedece a los riesgos que enfrentaría la economía estadounidense mientras países como China siguen contaminando el ambiente y contribuyendo con sus elevadas emisiones al calentamiento global. En marzo de 2025, la EPA declaró la revocación del mandato que estipulaba que, para el 2030, el 56% de la producción automotriz debía ser eléctrica. Actualmente, el marco institucional estadounidense permite la venta de VCI nuevos por más tiempo —con respecto a las otras tres economías líderes de la industria automotriz— y hay cabildeo del sector automotriz para retrasar fechas y cuotas de producción de VE. Grupos ambientalistas estadounidenses, como la Unión de Científicos Preocupados y la Fundación Europea del Clima, afirmaron que la retirada de Estados Unidos del Acuerdo de París agravará las consecuencias desastrosas que conlleva el cambio climático para la humanidad.

3.2. Tensiones provocadas desde el nivel de los nichos tecnológicos y las estrategias de los actores de régimen

La crisis del régimen sociotécnico del VCI fue puesta a debate por organizaciones expertas de la sociedad civil —en tanto consultoras internacionales— y por universidades como el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), al cuestionar su incompatibilidad con los valores de sustentabilidad. Resaltaron la inviabilidad del VCI por ser dependiente de energías fósiles e incorporaron al debate público el ruido vehicular que generan.

La competencia entre las distintas soluciones tecnológicas en torno al VE genera tensiones de tipo material en el nivel de nicho, pues las innovaciones buscan ser seleccionadas por los mercados para convertirse en el estándar tecnológico dominante. Los modelos de VE pueden ser 100% eléctricos a base de baterías (VEB) o híbridos (VEH), al combinar el uso de baterías con motores de combustión interna.

El VEH llegó al mercado en 1997 con el lanzamiento del modelo Prius de Toyota (Álvarez-Medina, 2004). Actualmente los modelos híbridos son enchufables (VEHE), pero en sus inicios funcionaban como sistemas cerrados porque el motor de combustión interna se encargaba de cargar la batería. La energía eléctrica que utilizan para su recarga puede ser renovable o no, al utilizar tecnologías convencionales basadas en energías fósiles. El VEHE se incorporó al mercado en 2012 como una solución tecnológica competitiva y más sustentable que el VCI. Tan sólo el mercado de VEH en Japón creció de 130.000 unidades en 2004, a 7,3 millones en 2018 (Wang & Matsumoto, 2022).

Actores de nicho continúan denunciando daños a la salud humana y al medioambiente ocasionados por las emisiones de CO₂ y NO_x generadas por el VCI. La fundación internacional IQAir —que colabora con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y ONU-Habitat, así como con la Cruz Roja Internacional y Greenpeace— señala que, en 2021, 8,1 millones de los fallecimientos registrados se deben a la contaminación del aire, y el 58% de esas muertes se relaciona con la cantidad de PM 2,5 en el aire (IQAir, 2024). Plug-in America es un movimiento social que en 2005 desplegó estrategias de resistencia de tipo discursivo ante la acción de compañías estadounidenses de cancelar la producción de VE y destruir su flota de eléctricos manufacturados en proyectos piloto, argumentando su baja rentabilidad, consumo y falta de infraestructura para su funcionamiento. El modelo EV1 de General Motors se retiró del mercado en 2003, a pesar de que había tenido buena aceptación. GM pudo recuperar casi todas las unidades producidas para destruirlas, pues utilizó arrendamiento financiero (Vicario, 2024).

En 2003, Tesla ingresó al sector automotriz como actor disruptivo de nicho con modelos de negocio innovadores que alteraron la estructura del mercado automotriz y energético. Creó un VE que actualizaba su *software* de manera remota; lo distribuyó mediante tiendas propias y en línea; construyó su propia red de carga eléctrica y concientizó a sus clientes de las ventajas de los VE (Galateanu & Avasilcaib, 2016). Las alianzas estratégicas con empresas japonesas como Panasonic, con quien lanzó su modelo S en 2008 (Tesla, 2024), y con Toyota en 2010 para producir la RAV 4EV con baterías de litio, son estrategias instrumentales y materiales de presión al régimen del VCI. En 2013 Tesla expandió sus operaciones al mercado europeo y en 2015 al mercado chino, líder mundial en VE. Tesla es un nuevo entrante en el sector automotriz que genera nuevas relaciones con el sector energético a partir del despliegue de infraestructura de carga para sus VE. Las estrategias discursivas de Tesla siguen suscitado tensiones desde el nivel de nicho por las diferencias de desempeño entre el VCI y el VE (Tabla 2).

Tabla 2. Desempeño entre el VE y el VCI

Indicadores	VCI	VE	Mejor desempeño VE
Impacto ambiental	Genera emisiones CO ₂ por uso de combustibles fósiles	Cero emisiones de CO ₂ (sin incluir su ciclo de vida)	
Emisiones (g CO ₂ /km)	214,4	164,8	✓
Consumo energía (kWh/100 km)	82,9	51,3	✓
Dependencia de recursos naturales	Gasolina, diésel y biocombustibles para motor	Litio, calcio, magnesio, manganeso, mercurio, zinc, cobalto, níquel, hidrógeno para baterías	X

Autonomía	Alta	Promedio de 337 km. (2023)	X
Tiempo de recarga	Aproximadamente cinco minutos	Desde 30 minutos hasta más de 12 horas	X
Costo inicial	Más bajo	Más alto. Depende de marca/modelo/país *	X
Mantenimiento	Más costoso	Menos costoso	✓
Infraestructura	Establecida	Limitada (depende de cada país)	X
Modularidad de la tracción	Menor	Superior	✓

Fuente: IEA (2024). Global EV Outlook 2024; Bloomberg (2024). Battery Bloat Could Backfire on Electric Vehicle Manufacturers. (*) por los subsidios que ofrecen algunos gobiernos a los consumidores de VE.

La **Tabla 2** muestra que el VE tiene mejor desempeño ambiental que el VCI, ya que no emite partículas de CO₂ durante su uso y su consumo energético es menor en 31,6 kWh/100 km. Sin embargo, en los procesos de producción, remanufactura o reciclaje de las baterías hay emisiones de CO₂, así como en el proceso de generación de electricidad cuando no se utilizan energías renovables. Aun así, durante el ciclo de vida del VE, éste registra menos emisiones (IEA, 2024); puede recargarse en casa y estacionamientos y el precio de su mantenimiento es bajo.

29

La entrada de Tesla como agente disruptivo del sector automotriz motivó que las empresas del sector respondieran con estrategias materiales, diseñando y lanzando al mercado sus propios modelos 100% eléctricos. En 2010, NISSAN lanzó el LEAF y BYD el e-6. En 2011, se introdujeron el BlueOn de Hyundai y el Ray de Kia. Del lado europeo, Citroën lanzó el C-zero en 2010 y PSA y Mitsubishi, el Peugeot iOn en el mismo año. Renault fabricó el Fluence en 2011 y el ZOE en 2012. GM lanzó en 2016 el vehículo 100% eléctrico Chevrolet Bolt, Chrysler el Fiat 500e, y Ford anunció su estrategia de electrificación en 2017 y lanzó el Ford Mustang Mach E, que se produce en México desde 2020. Volkswagen anunció en 2017 el Roadmap E, favoreciendo el propósito de dejar de vender VCI en Europa para 2035. En 2019, la compañía alemana presentó su línea de autos eléctricos ID3. En 2014, la empresa china Baidu produjo su primer vehículo inteligente CarNet (Álvarez-Medina & Marquina-Sánchez, 2023a). Las marcas chinas como Geely lanzaron el Emgrand EV en 2015, y NIO la SUV de lujo IS8 en 2018.

Las tensiones de tipo material e instrumental se relacionan con el precio elevado del VE, su rango de autonomía y la incipiente infraestructura de recarga. El precio promedio es mayor, aunque tiende a reducirse por las economías de escala, así como por la disminución del precio de las baterías de litio y el incremento de la competencia internacional. En 2022, el precio promedio de un VCI en China fue de 23.805 euros, mientras que el precio de un VE fue de 22.830 euros (Bloomberg, 2024). Respecto a la autonomía, aumentó en promedio a 337 kilómetros en 2023 y algunos vehículos alcanzaron hasta 500 km. Esto se logró por el incremento del tamaño promedio de las baterías de iones de litio.

Las compañías automotrices han enfatizado en la necesidad de mayor financiamiento público para la ID; el cambio de comportamiento de los consumidores hacia el VE; el apoyo de los gobiernos para la regulación y creación de estándares para la electromovilidad, así como el involucramiento de industrias convergentes, especialmente de energía y tecnologías de información y comunicación (TIC) para el desarrollo competitivo del VE y sus infraestructuras. En su rol de actores de nicho, las automotrices no han logrado consenso sobre el establecimiento de un estándar universal para cargadores eléctricos. La tasa de crecimiento de los cargadores públicos rápidos (30 minutos) en el mundo ha crecido 1,297% entre 2015 y 2020, pasando de 27,596 a 385,678. Los cargadores públicos lentos (ocho horas) crecieron 488%, pasando de 156,695 a 922,216 en el mismo periodo (IEA,2021). Sin embargo, en 2024 esto parece no ser suficiente conforme se incrementa la flota vehicular eléctrica.

Las respuestas estratégicas de los gobiernos para impulsar la transición sociotécnica al VE se han objetivado en el diseño de mezclas de instrumentos de política pública de tipo institucional e instrumental (**Tabla 3**). Crearon incentivos para la fabricación y el consumo de VE; han destinado recursos a la ID para el desarrollo de vehículos de nuevas energías y creado infraestructura de carga para las baterías, así como nuevos marcos regulatorios que favorecen el uso de energías renovables en los procesos productivos, lanzando campañas de concientización social sobre el problema del calentamiento global.

Resalta el caso del gobierno chino que, si bien es un agente político de régimen, ha diseñado estrategias instrumentales y materiales desde el nivel de nicho, desplegando una política industrial basada en la innovación tecnológica, destinando financiamiento público a la ID para producir modelos de vehículos cien por ciento eléctricos, en el marco del Plan de Desarrollo de Alta Tecnología (2001) y del X Plan Quinquenal 2001-2006 (Álvarez-Medina & Marquina-Sánchez, 2023a).

Tabla 3. Taxonomía de instrumentos de política pública para la adopción de VE

Propósito	Naturaleza	
	Sustantivos	Procedimentales
Producción	Financiamiento público a ID	Premios a la innovación tecnológica
	Créditos blandos a fabricantes automotrices por cumplir con cuotas de VE en su gama de productos	Premios para el desarrollo de nuevos modelos con escalamiento tecnológico

Infraestructura	Subsidios para la construcción de estaciones públicas de recarga	Gestión en línea del sistema de recargas de energía para los EV
	Reducción de tarifas eléctricas en estaciones de recarga	Ordenamiento territorial para estaciones de recarga
	Lugares de estacionamiento con tarifas preferentes	Carriles exclusivos de circulación
	Subsidios para la construcción de estacionamientos exclusivos para VE	
Consumo y uso	Subsidios a particulares para la compra de VE	Compras públicas de VE
	Reducción de derechos vehiculares en VE	VE sin restricciones de circulación (24 hrs. x 365 días)
	Exención de derechos por tenencia vehicular	
	Verificaciones vehiculares sin cargo o con tarifas reducidas	
	Exención de peaje	
	Descuentos en seguros	
	Proyectos de demostración	
	Ciudades piloto para demostración de VE	

Fuente: elaboración propia.

Las estrategias gubernamentales basadas en mezclas de instrumentos de política pública buscan reducir la brecha de precios entre el VCI y el VE para incrementar su consumo (Álvarez-Medina & Marquina-Sánchez, 2023a). Sin embargo, en la presente administración del presidente Trump se decidió eliminar los incentivos que existían para la producción y compra de VE, argumentando que los subsidios perjudican a la industria automotriz tradicional y sus empleos (Ferris, Anchondo & Fieseler, 2024). Los países competidores adoptaron políticas similares, pues recientemente los gobiernos han disminuido, o incluso suspendido, los subsidios a la compra que incentivaron su consumo.

Otra tensión material en el nivel de nicho ocurre con los modelos de VE que utilizan celdas de combustible cargadas con hidrógeno, conocidos como *fuel cell* (VEFC). Hay evidencias de que el VEFC puede ser una mejor solución tecnológica que el VEB, pues tienen procesos productivos y de funcionamiento más sustentables (ACEA, JAMA, AAM & UNEP, 2002). Aún es una tecnología costosa y carente de infraestructura que no ha logrado subsanar problemas técnicos relacionados con su almacenaje y seguridad. La posibilidad de transitar hacia una economía circular en la que se utilicen

otras fuentes de energía como el hidrógeno, está en desarrollo. Se proyecta que, para 2050, el hidrógeno y sus derivados alcancen apenas el 3.9% del mercado global energético, muy por debajo del 15% planteado en el Acuerdo de París (Yin, 2025).

La tecnología de hidrógeno para el VE está generando tensiones no solo de tipo material sino también discursivas, pues su extracción puede darse utilizando energías fósiles como el gas (IEA, 2024). En el debate público en torno al VE se han planteado críticas con respecto a las fuentes de energía utilizadas (Olsson, 2019) a lo largo del ciclo de vida del VE, pues se generan emisiones de CO₂ durante los procesos de fabricación y de recarga de las baterías. Las fuentes de energía para la producción de electricidad siguen siendo dependientes de energías no renovables, como el petróleo, carbón y gas.

En el sector energético existen innovaciones tecnológicas que favorecen la transición sociotécnica al VE. La tecnología de inversores mejoró la conducción de corriente continua —generada por paneles solares— a corriente alterna (Quispe & Paredes, 2024), para ser utilizada en la red de cargadores para VE. Por otra parte, los aerogeneradores y las turbinas han logrado ser de mayor tamaño y eficiencia, lo que permite incrementar la producción de energía eólica. Este tipo de innovaciones reduce los costos de generación de energías renovables para la construcción de redes de carga para los VE.

Una tensión discursiva en el nivel de nicho se presentó cuando organizaciones de la sociedad civil cuestionaron las acciones de Tesla al construir su Gigafactory en Grüneide, Alemania. Los ambientalistas expresaron preocupación por el uso del agua y la tala de 300 hectáreas de bosques. Argumentaron que están surgiendo problemas ambientales en torno a las baterías, tanto por la extracción del litio —o de otros minerales naturales que se encuentran en diversos países, como el magnesio, manganeso, zinc, cobalto y calcio— como por la basura generada por las baterías. Sólo la UE ha establecido estándares relacionados con los procesos de economía circular para las baterías de los VE (Fatima, 2024).

4. Discusión

Las transiciones sociotécnicas son cambios sistémicos de gran complejidad y procesos de larga duración en los que intervienen múltiples actores. Se observa que la gobernanza de la transición del régimen sociotécnico del VCI al VE se caracteriza por el intercambio de roles entre actores gubernamentales, empresariales y sociales que se posicionan estratégicamente (Crozier y Friedberg, 1990) en el nivel de paisaje, de nicho y de régimen para influir y/o tomar decisiones relativas a la transición del VE, y la velocidad del cambio. Despliegan estrategias de paisaje y de nicho, de tipo instrumental, discursivo, material e institucional provocando tensiones al régimen del VCI para su transformación.

La gobernanza sociotécnica de la transición al VE se ha configurado desde la década de los setenta, en el contexto del debate internacional sobre el deterioro ambiental y la política internacional de cambio climático. La descarbonización en el sector automotriz

conlleva cambios de reestructuración de la economía mundial (Newell, 2015) para lograr la neutralidad climática. La transición al VE es un proceso tecnológico, político y económico que se construye socialmente con tensiones y límites en su gobernanza.

En la fase de predesarrollo del VE, prevalecieron las tensiones discursivas generadas desde el nivel del paisaje por organizaciones ambientalistas, organismos internacionales y gobiernos comprometidos con el desarrollo sustentable, como fue la estrategia material de Japón para destinar recursos a la ID del VE y de energías renovables, lo que permitió que, en los años 90, Toyota pudiera lanzar el primer VEH. Las tensiones discursivas fueron moldeando el contexto de la transición sociotécnica del VE que ha influido en su gobernanza (Smith, Stirling & Berkhout, 2005). Toyota, como actor económico de régimen, diseñó estrategias materiales ambidiestras al realizar actividades de exploración de nuevos conocimientos científico-tecnológicos relacionados con el VE, y de explotación de las capacidades tecnológicas acumuladas en el régimen del VCI. Si bien Toyota es un actor de régimen, en su rol de agente de nicho, respondió a las tensiones del paisaje de manera creativa con el lanzamiento del VE híbrido. El modelo Prius perturbó la estabilidad dinámica del régimen (Geels, 2002) del VCI, generando una ruptura en su trayectoria sociotécnica.

Por ahora, el VEH es la innovación seleccionada por el mercado, pues retiene las capacidades tecnológicas acumuladas del VCI y las combina con las innovaciones radicales del VE. El VEH es una síntesis de fuerzas en tensión que se posiciona como innovación de transición, sin resolver el problema de la descarbonización de vehículos ligeros. Sin embargo, es una innovación que equilibra las tensiones del paisaje hacia el régimen y demuestra cómo las fuerzas del contexto inciden en la construcción social de las tecnologías. El contexto internacional influyó para que el VE fuera resignificado como una innovación tecnológica de mitigación al cambio climático. El VEH, en tanto innovación de transición asegura el cambio del régimen automotriz, alargando la fase de desarrollo para que las empresas competidoras puedan demostrar su liderazgo para la adopción del estándar global del VE que demuestre ser el más competitivo.

33

En la fase de desarrollo —iniciada con el VEH y que aún continúa—, los agentes de mercado han desarrollado múltiples modelos de VE en coordinación con actores gubernamentales para la obtención de financiamiento público. Las principales tensiones se generan desde el nivel de nicho, siendo materiales, instrumentales y discursivas relacionadas con el desarrollo tecnológico y los modelos de negocio. En esta fase, la gobernanza de la transición sociotécnica se caracteriza por la formación de alianzas y coaliciones, como estrategias instrumentales entre actores económicos de nicho y de régimen, para competir en la transición. Las alianzas Toyota-Tesla y la del grupo Stellantis aseguran la irreversibilidad (Lepratte *et al.*, 2015) de la transición al VE. Las alianzas automotrices reúnen capacidades para competir frente a las compañías de origen chino que lideran el mercado de los VEB. Las coaliciones influyen en las decisiones de actores gubernamentales para acelerar la velocidad del cambio sociotécnico hacia el VE, como acción de descarbonización. Los gobiernos diseñan estrategias instrumentales de adaptación, destinando financiamiento público a la ID de proyectos tecnológicos del VE e impulsando la vinculación triple hélice, lo que confirma que la gobernanza de la transición sociotécnica se basa en la coordinación de estrategias multiactores.

Las tensiones por la competencia tecnológica son estrategias materiales relacionadas con el diseño, desempeño y sostenibilidad de las tecnologías. El VE depende de la convergencia tecnológica e industrial entre los sectores automotriz, energético y TIC, como lo ha demostrado Tesla. Las innovaciones tecnológicas basadas en el uso de nuevas energías, así como el desarrollo de nuevos modelos de negocio en el sector automotriz y energético, resultan de capacidades tecnológicas acumuladas y alianzas empresariales, en coordinación con actores gubernamentales, en la competencia para establecer el estándar global del diseño tecnológico automotriz. El VEH es una innovación de transición seleccionada por el mercado, que ralentiza la transición sociotécnica del VE para que las compañías automotrices reunidas en grandes alianzas empresariales puedan competir para la selección del estándar global, pues por ahora las empresas automotrices chinas son las líderes con sus modelos de baterías de iones de litio; solución tecnológica que se encuentra a debate público por sus efectos contaminantes.

En esta fase, actores de paisaje de la sociedad civil no cesan en su esfuerzo por impulsar la transición sociotécnica acelerada hacia el VE 100% eléctrico. Se posicionan en el nivel de nicho como consultoras que utilizan estrategias de carácter discursivo, difundiendo información sobre las emisiones de CO₂, considerando el ciclo de vida del VE. Son demandas socioambientales que los desarrolladores de VE tendrán que atender para la legitimación de la selección tecnológica, con base en valores no solamente de rentabilidad económica, sino del desarrollo sustentable, pues hasta ahora los valores de la sustentabilidad ambiental y social han quedado subsumidos a la racionalidad económica.

34

En la fase de difusión, que ocurre de manera paralela a la de desarrollo, se encuentran tensiones discursivas en torno a las controversias sociotécnicas del VE, provocadas por movimientos y organizaciones ambientalistas. Denuncian sus efectos negativos y exigen mayor velocidad y compromiso de instituciones nacionales y supranacionales para el desarrollo de tecnologías más sustentables para el VE. Su principal argumento es adoptar una perspectiva sustentable del ciclo de vida del VE. Enfatizan en el impacto ambiental de extracción de litio utilizado en las baterías, y la contaminación que éstas producen al término de su vida útil. En el debate público se delibera sobre la descarbonización del sector eléctrico, la falta de eficiencia energética y el elevado consumo energético del VE por la digitalización. También hay cuestionamientos sobre el gasto público destinado a subsidiar al VE, ya que no está probado que sea una innovación sustentable.

En esta fase resaltan las estrategias de tipo institucional sobre las regulaciones de la UE y del gobierno japonés, ambas en coordinación con empresas automotrices, para acelerar la adopción de VE y la transición sociotécnica al VE. No obstante, la falta de regulación ambiental relacionada con esta transición en otros países, seguirá reproduciendo el régimen vigente del VCI.

Conclusiones

La gobernanza de la transición sociotécnica al VE es dinámica, pues se configura a partir del juego de fuerzas desestructurantes y estructurantes provocadas por las tensiones derivadas de decisiones estratégicas entre los actores relevantes de los niveles de nicho, de paisaje y de régimen. El acoplamiento de los marcos cognitivos en los niveles de nicho y de paisaje causó presión al régimen automotriz influyendo en las preferencias y decisiones de los actores económicos y políticos, quienes comenzaron a desplegar acciones estratégicas de respuesta de carácter discursivo, institucional, instrumental y material, ya sea para resistir y obstaculizar el avance del cambio tecnológico y socioinstitucional, o bien para acelerar su transición. Las mezclas de instrumentos de política pública son reflejo de acciones para la transición sociotécnica al VE. Las decisiones de los actores de régimen se han legitimado socialmente a través del debate en la esfera pública, y en coalición con actores de la sociedad civil.

Los resultados de la investigación permiten observar dos modelos de gobernanza adoptados por los países líderes de la industria automotriz, encontrando complementariedad y tensión entre ellos, en el proceso de la transición sociotécnica al VE.

El modelo de gobernanza político conlleva un proceso reflexivo, abierto a la negociación, la inclusión y pluralidad de posiciones para su legitimidad. La ambigüedad de la política de Estados Unidos hacia el VE muestra la existencia de un modelo de gobernanza de tipo político caracterizado por estrategias poco coherentes y en oposición entre las últimas administraciones de los partidos demócrata y republicano. En las administraciones de los demócratas se han diseñado estrategias institucionales y materiales para impulsar y acelerar la transición mediante reglas, subsidios y gasto para la ID del VE, influyendo en las preferencias y decisiones de los actores económicos de régimen y nicho. En administraciones republicanas se han desplegado estrategias de resistencia discursivas e instrumentales que frenan la transición, al reducir el presupuesto público destinado a la ID y consumo de VE, cuestionando su desempeño y competitividad respecto al VCI. El modelo político de gobernanza busca prolongar el debate público sobre la transición al VE, evitando con ello el *momentum* tecnológico (Marquina-Sánchez, 2019), a fin de continuar la fase de desarrollo, eludiendo el cierre tecnológico del VE basado en baterías de litio.

El modelo de gobernanza de gestión es un enfoque que direcciona la coordinación de los actores, sus recursos y capacidades hacia propósitos y objetivos públicos, como las metas de descarbonización de los sectores automotriz, energético y de TIC, utilizando estrategias institucionales y materiales que dan impulso a la transición al VE. Este modelo ha sido adoptado por la UE y Japón, al estar orientado al cumplimiento de objetivos y metas alineados al Acuerdo de París y la Agenda 2030, en el marco de la política internacional de cambio climático, enfatizando que el VE es una innovación que contribuye a la descarbonización. La construcción social del VE como una tecnología favorable al medioambiente moldea los marcos interpretativos de gobiernos y consumidores para difundir una imagen del VE como artefacto congruente con los valores de la sustentabilidad; visión que grupos ambientalistas reclaman para

incorporar energías limpias y medidas regulatorias en todo el ciclo productivo y hasta el final de su vida útil. Es un modelo legitimado socialmente por los compromisos internacionales hacia el desarrollo sustentable.

China adopta el modelo de gestión, pero de manera más flexible con respecto a los tiempos de cumplimiento para la adopción del VE, pues ocupa la primera posición como productor mundial de la industria automotriz y continúa en la fase de desarrollo con planes de inversión orientados a la ID de vehículos de nuevas energías. Además, el modelo de gobernanza de gestión es afín a la tradición de planificación del Estado socialista chino.

Ambos modelos de gobernanza se desarrollan de manera paralela y son complementarios, a pesar de que se mantienen en tensión. Mientras que el modelo de gestión avanza hacia la transición al VE y busca su aceleración mediante la regulación consensada socialmente e institucionalizada en marcos jurídicos multinivel, el modelo político de gobernanza resiste y se adapta, retrasando la transición. Así, se prolonga la etapa de desarrollo tecnológico para la exploración y mejora de innovaciones, creando nuevas sendas tecnológicas de las que pueda emerger el estándar global del VE, mediante procesos de reflexividad que consideren las demandas sociales de sustentabilidad ambiental, y no únicamente de rentabilidad económica para el establecimiento del diseño dominante del VE.

36

La gobernanza de la transición sociotécnica implica aprendizajes sociales para la exploración de nuevas ideas y trayectorias tecnológicas, para ser discutidas socialmente. Los límites de la gobernanza se manifiestan cuando emergen nuevas tensiones provocadas por las latencias del sistema sociotécnico del VE, en un contexto de incertidumbre que genera debates y controversias sociotécnicas en torno a las nuevas problemáticas ambientales del VE, como el alto consumo energético y de emisiones de CO₂ de los sectores convergentes. El debate público de las controversias sociotécnicas permite mantener abierto el sistema sociotécnico para su coevolución socioinstitucional.

En esta investigación se avanzó en la discusión teórico-metodológica de las transiciones sociotécnicas a la sustentabilidad, al proponer un marco de análisis de la gobernanza a partir de la identificación de las tensiones sociotécnicas y la tipificación de las estrategias que despliegan los actores en los tres niveles de actuación de los sistemas sociotécnicos, reconociendo la dualidad de los roles que desempeñan los actores en cada nivel, según su posición y las coaliciones que logran para influir en la transición acelerada al VE, o para retrasarla. La investigación aporta evidencias sobre la coexistencia de dos modelos de gobernanza en la transición sociotécnica al VE, uno de carácter político y otro de gestión.

Declaración de uso de IA

En este artículo se utilizó el buscador Google Scholar para la revisión de literatura científica.

Bibliografía

Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA), Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA), Alliance of Automobile Manufacturers (AAM) & United Nations Environment Programme (UNEP) (2002). UNEP report of the automotive industry as a partner for sustainable development. Association des Constructeurs Européens d'Automobiles & United Nations Environment Programme. Recuperado de: <https://digitallibrary.un.org/record/475241?ln=ru>.

Álvarez-Medina, Lourdes (2004). Innovación tecnológica y contaminación ambiental. *Economía Informa*, (330), 54-62. Recuperado de: <https://www.economia.unam.mx/publicaciones/reseconinforma/pdfs/330/06Lourdesalvarez.pdf>.

Álvarez-Medina, Lourdes & Marquina-Sánchez, Lourdes (2023a). Instrumentos de política pública para la adopción de vehículos eléctricos en China. En Enrique Dussel Peters (Ed.), *América Latina y el Caribe y China, Economía, Comercio e Inversión 2023* (149-177). México: UNAM.

Álvarez-Medina, Lourdes & Marquina-Sánchez, Lourdes (2023b). ¿Quién está impulsando la transición a la electromovilidad en la Ciudad de México? Un estudio de agentes de nicho. *European Scientific Journal*, ESJ, 19(37), 158-173. DOI: <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n37p158>.

Antal, Edit (2004). Cambio climático: desacuerdos entre Estados Unidos y Europa. México: UNAM & Plaza y Valdés Editores.

Bloomberg (2024). Battery Bloat Could Backfire on Electric Vehicle Manufacturers. Recuperado de: <https://www.bloomberg.com/news/newsletters/2023-08-01/battery-bloat-could-backfire-on-electric-vehicle-manufacturers>.

Bomberg, Elizabeth (2021). The environmental legacy of President Trump. *Policy Studies*, 42 (5-6), 628-645. DOI: <https://doi.org/10.1080/01442872.2021.1922660>.

Borrás, Susana & Edler, Jakob (2014). The governance of change in socio-technical and innovation systems: Three pillars for a conceptual framework. En Susana Borrás & Jakob Edler (Eds.), *The governance of socio-technical systems: Explaining change* (23-48). Edward Elgar. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781784710194.00011>.

Borrás, Susana & Edler, Jakob (2020). The roles of the state in the governance of socio-technical systems transformation. *Research Policy*, 49(5), 103971. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103971>.

California Air Resources Board (CARB) (2022). Advanced Clean Cars II Regulations. Recuperado de: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/board/books/2022/082522/prores22-12.pdf>.

Crozier, Michel & Friedberg, Erhard (1990). *El actor y el sistema. Las restricciones de la acción colectiva*. México: Editorial Patria.

Edwards, Michelle L. (2025). NEPA “Modernization”: From the Trump Administration to the Biden Administration. *Review of Policy Research*, 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1111/ropr.70045>.

European Commission (2023). Zero emission vehicles: first ‘Fit for 55’ deal will end the sale of new CO2 emitting cars in Europe by 2035. Recuperado de: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6462.

Fatima, Anousha (2024). *Policy instruments for promoting the lifetime extension of EV batteries in Japan* [Tesis de maestría]. Graz: Universidad de Graz.

Ferris, David, Anchondo, Carlos & Fieseler, Clare (2024). What Trump 2.0 could mean for EVs, Solar and CCS. Recuperado de: <https://www.eenews.net/articles/what-trump-2-0-could-mean-for-evs-solar-and-ccs/>.

Fischer, Lisa-Britt & Newig, Jens (2016). Importance of actors and agency in sustainability transitions: A systematic exploration of the literature. *Sustainability*, 8(4), 476. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8050476>.

Freyssenet, Michel (2009). Conclusion: the second automobile revolution promises and uncertainties. En Michel Freyssenet (Ed.), *The second automobile revolution. Trajectories of the world car makers in the 21st century* (443-455). Palgrave Macmillan.

Galateanu, Elena & Avasilcai, Silvia (2016). Framing the Competitive Behaviors of Niche Players: The Electric Vehicle Business Ecosystem Perspective. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 342-351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.124>.

Geels, Frank W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8).

Geels, Frank W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6-7), 897-920. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>.

Geels, Frank W. (2005). The Dynamics of Transitions in Socio-technical Systems: A Multi-level Analysis of the Transition Pathway from Horse-drawn Carriages to Automobiles (1860-1930). *Technology Analysis & Strategic Management*, 17(4), 445-476. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537320500357319>.

Geels, Frank W. (2011). The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms, *Environmental innovation and societal transitions*, 1(1), 20-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>.

Geels, Frank W. (2014). Regime resistance against low-carbon transitions: Introducing politics and power into the multi-level perspective. *Theory, Culture and Society*, 31(5), 21-40. DOI: <https://doi.org/10.1177/0263276414531627>.

Geels, Frank W & Shot, Johan (2007). Typology of sociotechnical transition pathways, *Research Policy*, 36(3), 399-417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>.

Grin, John, Rotman, Jan & Schot, Johan (2010). Transitions to sustainable development. New directions in the study of long-term transformative change. Nueva York: Routledge.

International Energy Agency (IEA) (2021). Global EV outlook 2021. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.

International Energy Agency (IEA) (2024). Global EV Outlook 2024. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>.

IQAir (2024). World Air Quality Report 2024: Region & city PM2.5 ranking. Recuperado de: <https://www.iqair.com/world-air-quality-report>.

Jetin, Bruno (2020). Who will control the electric vehicle market? *International Journal of Automotive Technology and Management*, 20(2), 156-177. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJATM.2020.108584>.

Jordan, Andrew & Gravey, Viviane (2021). Environmental Policy in the EU. Actors, Institutions and Processes. Routledge & Taylor & Francis Group.

Kemp, René, Schot, Johan & Hoogma, Remco (1998). Regime Shifts to Sustainability Through Processes of Niche Formation: The Approach of Strategic Niche Management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10(2), 175-195. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537329808524310>.

Kovacic, Zora & Benini, Lorenzo (2022). Striking the balance: Sustainability and institutional transitions in the European Environment Agency. *Futures*, 141, 102984. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.102984>.

Lepratte, Leandro, Blanc, Rafael, Pietroboni, Rubén & Hegglin, Daniel (2015). Sistemas socio-técnicos de producción e innovación. Análisis de la dinámica del sector de producción de carne aviar en la Argentina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 10(28), 57-82. DOI: <https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-534>.

Loorbach, Derk (2010). Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive, Complexity-Based Governance Framework. *Governance: An International Journal of Policy, Administration, and Institutions*, 23(1), 161-183. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x>.

Marquina-Sánchez, Lourdes (2019). Thomas Hughes: pensamiento complejo e interdisciplinario para el estudio de grandes sistemas socio-técnicos. En Carlos Eduardo Ballesteros (Coord.), *Teorías y enfoques contemporáneos sobre la complejidad social, política e internacional* (100-121). México: UNAM.

Marquina-Sánchez, Lourdes & Álvarez-Medina, Lourdes (2017). Tensiones en la gobernanza del cambio climático: el principio de responsabilidad extendida del productor aplicado al sector automotriz. En Miguel Moreno Plata & Lourdes Marquina-Sánchez (Eds.), *La gobernanza urbana y metropolitana en la era del cambio climático* (103-118). México: UACM/EON.

Nelson, Richard R. & Winter, Sidney G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: Harvard University Press.

Newell, Peter (2015). The Politics of Green Transformations in Capitalism. En Ian Scoones, Melissa Leach & Peter Newell (Eds.), *The Politics of Green Transformations* (68-85). Routledge. DOI: <https://www.doi.org/10.4324/9781315747378-5>.

Olsson, Linda (2019). The role of electric vehicles in reducing climate impact: Swedish public debate 2010–2018. *The International Journal of Climate Change: Impacts and Responses*, 11(3), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.18848/1835-7156/CGP/v11i03/1-13>.

Ortar, Nathalie & Ryghaug, Marianne (2019). Should all cars be electric by 2025? The electric car debate in Europe. *Sustainability*, 11(7), 1868. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11071868>.

Quispe, Leonidas A. & Paredes, Alex D. (2024). Análisis comparativo de las tecnologías de inversores On Grid utilizados en sistemas conectados a la Red. *Tesla Revista Científica* 4(1), e286. DOI: <https://doi.org/10.55204/trc.v4i1.e286>.

Shigeta, Naoya & Hosseini, Seyed E. (2021). Sustainable Development of the automobile industry in the United States, Europe, and Japan with special focus on the vehicles' power sources. *Energies*, 14(1), 78. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14010078>.

Smith, Adrian, Stirling, Andy & Berkhout, Frans (2005). The governance of sustainable socio-technical transitions. *Research Policy*, 34(10), 1491-1510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.07.005>.

Smith, Adrian & Stirling, Andy (2007). Moving Outside or Inside? Objectification and Reflexivity in the Governance of Socio-Technical Systems. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 9(3-4), 351-373. DOI: <https://doi.org/10.1080/15239080701622873>.

Sosa Marquina, Daniel (2023). *Can we close the gap on time? An assessment of the innovative financial instruments that could enhance the mobilization of climate finance* [Tesis de maestría]. Leipzig: Universidad de Leipzig.

Takahashi, S. (1982). Japanese EV battery Programme. *Journal Power Systems*, 7(4), 331-342. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(82\)80026-8](https://doi.org/10.1016/0378-7753(82)80026-8).

Tesla (2024). Elon Musk. Recuperado de: https://www.tesla.com/es_mx/elon-musk.

The White House (2021). Fact sheet: President Biden announces steps to drive American leadership forward on clean cars and trucks. Recuperado de: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/08/05/fact-sheet-president-biden-announces-steps-to-drive-american-leadership-forward-on-clean-cars-and-trucks/>.

Vicario, Iván (2024). GM EV1, el eléctrico de los 90 que General Motors hizo desaparecer, La escudería. Recuperado de: <https://www.escuderia.com/gm-ev1-electrico-de-los-90-que-general-motors-hizo-desaparecer/>.

Wang, Jiaxing & Matsumoto, Shigeru (2022). Can subsidy programs lead consumers to select “greener” products? Evidence from the Eco-car program in Japan. *Research and Transportation Economics*, 91, 101066. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2021.101066>.

Yin, Shi (2025). Challenges and future directions for green hydrogen development. *Academia Green Energy*, 2(1), 1-4. DOI: <https://doi.org/10.20935/AcadEnergy7564>.