

Maria Mercedes Vanegas Cantarero

**Renewable energy for sustainable  
development: Reviewing the  
Nicaraguan energy transition,  
its challenges and opportunities**

RENEWABLE ENERGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: REVIEWING  
THE NICARAGUAN ENERGY TRANSITION, ITS CHALLENGES AND  
OPPORTUNITIES

By  
María Mercedes Vanegas Cantarero

A CUMULATIVE DISSERTATION  
Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of  
DOCTOR OF ECONOMICS (Dr. rer. pol.)  
In Energy and Environmental Management in Developing Countries

EUROPA-UNIVERSITÄT FLENSBURG  
2020

This dissertation has been approved in partial fulfillment of the requirements for the Degree of DOCTOR OF ECONOMICS (Dr. rer. pol.) in Energy and Environmental Management in Developing Countries.

Department of Energy and Environmental Management

Dissertation Co-advisor: *Prof. Dr. Bernd Möller*

Dissertation Co-advisor: *Prof. Poul A. Østergaard, PhD*

Schriftenreihe der Reiner Lemoine-Stiftung

**Maria Mercedes Vanegas Cantarero**

**Renewable energy for sustainable development:  
Reviewing the Nicaraguan energy transition,  
its challenges and opportunities**

Shaker Verlag  
Düren 2021

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Flensburg, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8081-0

ISSN 2193-7575

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

---

## Dedication

To *Julio Vanegas* and *Lubina Cantarero*

Ustedes siempre han sido los principales promotores de mis sueños. Esto es por y para ustedes.



---

# Contents

<b>List of Figures</b> . . . . .	<b>ix</b>
<b>List of Tables</b> . . . . .	<b>xi</b>
<b>Acknowledgments</b> . . . . .	<b>xv</b>
<b>List of Publications</b> . . . . .	<b>xvii</b>
<b>List of Abbreviations</b> . . . . .	<b>xix</b>
<b>Abstract</b> . . . . .	<b>xxiii</b>
<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>xxvi</b>
<b>Resumen Ejecutivo</b> . . . . .	<b>xxix</b>
<b>1 Introduction</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1 Background . . . . .	1
1.2 Problem Statement . . . . .	5
1.3 Research Questions . . . . .	7
1.4 Structure of the Thesis . . . . .	8
<b>2 Trends in Current Literature</b> . . . . .	<b>11</b>
2.1 Transition to Renewable Energy Systems for Sustainable Development . . . . .	12
2.2 Planning the Transition to Sustainable Energy Systems . . . . .	15
<b>3 Theoretical Framework</b> . . . . .	<b>19</b>
3.1 Energy Models: Designing the Transition . . . . .	19
3.2 Energy and Sustainable Development . . . . .	22
3.3 Justice, Equity and Democracy in the Energy Transition . . . . .	23
3.4 100% Renewable Energy and Smart Energy Systems . . . . .	25



---

<b>4</b>	<b>Methodology</b> . . . . .	<b>29</b>
4.1	Methodological Design . . . . .	29
4.2	Key Methods . . . . .	31
4.2.1	Energy Planning and Modelling Tools . . . . .	31
4.2.2	Econometrics for Renewable Energy and Sustainable Development . . . . .	34
4.2.3	The Social and Political Side of the Energy Transition . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Nicaragua’s State of Energy Affairs</b> . . . . .	<b>41</b>
5.1	Country Profile . . . . .	41
5.2	The Current Energy System . . . . .	42
5.3	The Hydrocarbon Sector . . . . .	44
5.4	The Power Sector . . . . .	46
5.5	Institutional and Legal Framework . . . . .	47
5.6	Historical Development of the Power Sector . . . . .	50
5.7	Tariff Scheme and Financial Sustainability of the Power Sector . . . . .	52
<b>6</b>	<b>Main Results and Discussion</b> . . . . .	<b>57</b>
6.1	Technological Alternatives . . . . .	57
6.2	Renewable Energy for Sustainable Development . . . . .	64
6.3	Society and Politics in the energy transition . . . . .	67
6.4	Tracking the Nicaraguan energy transition . . . . .	74
<b>7</b>	<b>Conclusions and Recommendations</b> . . . . .	<b>79</b>
7.1	Concluding Remarks . . . . .	79
7.2	Recommendations . . . . .	83
7.3	Contribution of the Research . . . . .	84
7.4	Limitations and Further Work . . . . .	86
	<b>References</b> . . . . .	<b>87</b>
	<b>Appendices</b> . . . . .	<b>109</b>
	Appendix A: Interview Questions and Interviewees . . . . .	110
	Appendix B: Resumé . . . . .	117

---

# List of Figures

1.1	Renewable electricity generation growth compared to clean energy investment in Nicaragua . . . . .	6
1.2	Structure of this thesis . . . . .	10
2.1	Number of annual scientific documents published per search . . . . .	12
2.2	Thematic distribution of the papers resulting from search 1 . . . . .	14
3.1	Choice awareness strategies . . . . .	26
4.1	Layout of the research methodology followed in this dissertation including design, selected methods and tools as well as outcomes and publications resulting from its implementation. . . . .	30
5.1	Evolution of energy intensity in different countries compared to Nicaragua . . . . .	44
5.2	Structure of the Nicaraguan energy market . . . . .	48
5.3	Evolution of the installed capacity for electricity generation in Nicaragua . . . . .	51
5.4	Pearson correlation between electricity generation from renewable energy and wholesale electricity prices in selected years . . . . .	52
	(a) 2010 . . . . .	52
	(b) 2018 . . . . .	52
5.5	Nominal electricity prices in selected Central American countries. . . . .	53
5.6	Consumer price cost breakdown in 2018 for residential customers (tariff T0) and medium-size industries (tariff T4-E). . . . .	54
6.1	Electricity generation matrix, Nicaragua 2014 . . . . .	58
6.2	Sample hourly electricity mix in the EXP and BIO scenarios in 2030 during (a) rainy and (b) dry season . . . . .	59
	(a) 2 days (So + Mo), October . . . . .	59
	(b) 2 days (Fr + Sa), January . . . . .	59

---

6.3	Secondary energy consumption in 2030 per scenario explored in Paper 1 . . . . .	60
6.4	Abatement cost per scenario . . . . .	62
6.5	Pearson correlations between selected economic indicators in Nicaragua between 1971 and 2013 . . . . .	65
6.6	Roadmap of technological, societal and political alternatives to accelerate the energy transition . . . . .	68
6.7	Views of the hydroelectric power plant "El Bote" and the municipality of El Cuá, Jinotega, Nicaragua in 2020 . . . . .	71
	(a) Entrance to hydroelectric power plant . . . . .	71
	(b) Hydroelectric dam . . . . .	71
	(c) Small business in El Cuá . . . . .	71
	(d) Typical households in the city of El Cuá . . . . .	71
6.8	Monitoring the progress in different dimensions of the Nicaraguan energy transition . . . . .	76
	(a) Justice . . . . .	76
	(b) Democracy and citizenship . . . . .	76
	(c) Energy security . . . . .	76
	(d) Environmental sustainability . . . . .	76
7.1	Pathways to accelerate the energy transition in Nicaragua . . . . .	82

---

# List of Tables

1.1	Country profile: Nicaragua . . . . .	2
2.1	Algorithms used in the Scopus web search . . . . .	11
5.1	Scheduled reductions to households' subsidies in electricity consumption in Nicaragua . . . . .	55
6.1	ARDL model long and short run parameter estimations . . . . .	66
6.2	Toda-Yamamoto Granger non-causality test results . . . . .	66
6.3	Annual average electricity prices in Nicaragua in selected years (C\$/kWh) . . . . .	72
6.4	Indicators and sources referenced in Figure 6.8 . . . . .	77



---

*“Scheiß auf den Kommerz. Lass uns  
was Richtiges machen.”*

REINER LEMOINE (1949 – 2006)



---

## Acknowledgments

I have received a great deal of support and assistance throughout my studies. I would like to acknowledge all the people and institutions that contributed to the culmination of this research.

First, I would like to extend my gratitude to the Reiner Lemoine Foundation for letting me be part of an incredible network of young researchers striving for a greener world. This work would have not been possible without the Foundation's support and funding.

I would also like to express my deepest appreciation to my supervisors, Prof. Dr. Bernd Möller and Prof. Poul Østergaard, who extended a great amount of assistance and valuable advice during these years. It has been a privilege to work under their guidance.

Thanks should also go to the doctoral team of the Department of Energy and Environmental Management in Developing Countries in the Europa-Universität Flensburg who never wavered in their support and provided me with insightful suggestions to strengthen my work.

I wish to acknowledge the help provided by the staff in the Ministry of Energy and Mines, the National Load Dispatch Center and the National Electricity Transmission Company in Nicaragua, who facilitated data collection.

I am also thankful to Jean-Baptiste Boudot, Javier Gutiérrez, Lâl Marandin, Sonia Wheelock and Lizeth Zúñiga, for their time and willingness to provide valuable insight during the interviews.

Finally, I wish to acknowledge the support and great love of my family. Thank you to my parents, in-laws and sister for their patience and encouragement. Also, I'm deeply indebted to my partner, Artur Movsessian, who has always been my greatest supporter and critic. Thank you so much for your constructive criticism and advice, your profound belief in my work and abilities and, above all, for your patience.





---

## List of Publications

The following articles were published as a result of the research within this dissertation:

- Vanegas Cantarero, M. M. (2018). Reviewing the Nicaraguan transition to a renewable energy system: Why is “business-as-usual” no longer an option?. *Energy policy*, 120, 580-592. doi: 10.1016/j.enpol.2018.05.062
- Vanegas Cantarero, M. M. (2019). Decarbonizing the transport sector: The Promethean responsibility of Nicaragua. *Journal of Environmental Management*, 245, 311-321. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.109
- Vanegas Cantarero, M. M. (2020). Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries. *Energy Research & Social Science*, 70, 101716. doi: 10.1016/j.erss.2020.101716



---

## List of Abbreviations

ADF	Augmented Dickey Fuller
AIC	Akaike's Information Criterion
AGT	Automated Gateway Transit
ALBA	Alianza Bolivariana de las Americas (Bolivarian Alliance of the Americas)
APRODELBO	Asociacion Pro-desarrollo de Servicio Electrico Bocay (Bocay Electrical Service Development Association)
ARDL	Autoregressive Distributed Lag
AsoFenix	Asociacion Fenix (Fenix Association)
ATDER-BL	Asociacion de Trabajadores de Desarrollo Rural - Benjamin Linder (Association of Rural Development Workers - Benjamin Linder)
BCN	Central Bank of Nicaragua
BRT	Bus Rapid Transit
CARICOM	Caribbean Community and Common Market
CFLs	Compact Fluorescent Lamps
CIA	Central Intelligence Agency
CNDC	Centro Nacional de Despacho de Carga (National Load Dispatch Center)
CNE	Comision Nacional de Energia (National Energy Commission)
DNP	Distribuidora Nicaragüense de Petroleo (Nicaraguan Oil Distributor)
ECM	Error Correction Model
EKC	Environmental Kuznets Curve
ENATREL	Empresa Nacional de Transmision Electrica (National Electricity Transmission Company)
ENEL	Empresa Nicaragüense de Electricidad (Nicaraguan Electricity Company)
FAO	Food and Agriculture Organization
GDP	Gross Domestic Product
gha	Global Hectare
GHG	Greenhouse Gas
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (German Corporation for International Cooperation)

---

HQ	Hannah Quinn Information Criterion
IEA	International Energy Agency
INE	Instituto Nacional de Energia (National Energy Institute)
INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Nicaraguan Institute of Territorial Studies)
INTUR	Instituto Nicaragüense de Turismo (Nicaraguan Institute of Tourism)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRENA	International Renewable Energy Agency
kboe	Thousands of barrels of oil equivalent
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning
LPG	Liquid Petroleum Gas
MEM	Ministerio de Energia y Minas (Ministry of Energy and Mines)
MIF	Multilateral Investment Fund
MtCO <sub>2</sub>	Metric tons of carbon dioxide
NDC	Nationally Determined Contribution
NGO	Non-governmental Organisation
PDVSA	Petroleos de Venezuela (Petroleum of Venezuela)
PERZA	Proyecto de Electrificación Rural para Zonas Aisladas Off-grid Rural Electrification Project
PNESER	Programa Nacional de Electrificación Sostenible y Energías Renovables (Sustainable Electrification and Renewable Energy Programme)
PPP	Purchasing Power Parity
PV	Photovoltaic
RE	Renewable Energy
RENOVABLES	Asociación Nicaragüense de Energía Renovable (Nicaraguan Association for Renewable Energy)
RQ	Research Question
SDGs	Sustainable Development Goals
SE4All	Sustainable Energy for All
SES	Smart Energy Systems
SIC	Schwarz's Information Criterion
T-Y	Toda-Yamamoto
TFEC	Total Final Energy Consumption
TPES	Total Primary Energy Supply
UNDP	United Nations Development Programme
UN ECLAC	United Nations Economic Commission for Latin American

---

---

	and the Caribbean
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
V2G	Vehicle-to-Grid
VAR	Vector Autoregressive
WJP	World Justice Project



---

## Abstract

**Background.** Energy is fundamental for development. In the last decades, fossil fuels have been the primary source of energy powering economies around the world. Paradoxically, these sources of energy have become the main source of human-induced climate change. Renewable energy has been appointed among the primary strategies to tackle the current climate crisis and build more resilient and sustainable energy systems. Countries around the world aim to transition to low-carbon energy systems to support sustainable development. Recently, developing and emerging economies have been leading investment in renewable energy. Due to the modest size of most of these economies, transitioning to sustainable and renewable energy systems could be a swift and less resource-intensive process, once the adequate strategies and policies are in place.

Nicaragua actively invested in renewable energy capacity in the last decade, positioning itself among the early leaders of the energy transition in Latin America. With a vast renewable energy potential, Nicaragua more than quintupled its electricity generation from clean energy sources between 2000 and 2017. Furthermore, using the distributed nature of renewable energy sources to its advantage, the country provided access to modern energy to nearly 98% of its population in 2019. This is a significant increase from 54% in 2006. However, progress has slowed down and investment in renewable energy has fallen to virtually zero since 2015. Furthermore, decarbonisation efforts are focused on the power sector and neglect other carbon-intensive sectors. This single-sector approach restricts the sustainability of the Nicaraguan economy and limits the country's energy transition.

**Aims.** 1) To examine the Nicaraguan energy system and its vision of a transition to renewable energy, identifying key drivers and challenges. 2) To study the energy-growth nexus in the context of Nicaragua and identify the role of renewable energy in the country's strategies for sustainable development. 3) To develop alternative energy pathways for Nicaragua based on a smart energy systems approach and the principles of energy justice and democracy to accelerate the uptake of renewable energy in the country, reduce greenhouse gas emissions and foster sustainable development. 4) To perform a techno-economic evaluation of the energy pathways developed. 5) To provide recommendations to aid a swift, just and democratic transformation of the



---

Nicaraguan energy system.

**Methods.** A convergent parallel mixed methods approach integrating both qualitative and quantitative data. The current situation of the Nicaraguan energy system is defined through desk research, reviewing policies and legislation, plans and strategies, as well as statistics and operational data. This information is used to build both econometric and energy models. Time-series econometric techniques, particularly an autoregressive distributed lag model and a vector autoregressive model, were employed to study the dynamics between selected economic and energy-related variables and identify the role of renewable energy in Nicaragua's recent economic development. Two energy modelling tools (EnergyPLAN and LEAP) were used to simulate the Nicaraguan energy system and design alternative energy pathways leading to a more sustainable and renewable energy system. Finally, interviews were carried out along with a review of scientific and grey literature to better understand the concepts of energy justice and energy democracy, which recently have been attracting attention in Nicaragua.

**Results.** Renewable energy has contributed to mitigating environmental degradation in Nicaragua while fostering economic development. Such energy sources have modestly supported the decoupling of the historical correlation between economic development and environmental degradation in the country. This research found that the potential to curb environmental degradation via renewable energy increases in the long-run and, therefore, it is fundamental to continue promoting the transformation of the Nicaraguan energy system.

Renewable energy must be integrated into all economic sectors to decarbonise the Nicaraguan energy system. For this, alternative energy pathways must be considered. Adopting new technologies in the transport sector may contribute to this purpose. Battery-electric vehicles, an electric public transport system in the Nicaraguan capital, and the production and local consumption of electrofuels are some strategies to introduce renewable energy into the Nicaraguan transport sector and significantly reduce greenhouse gas emissions. Furthermore, community energy projects were identified as an effective strategy to enable access to modern energy services, tackle the issues of energy poverty and social exclusion, and create opportunities for sustainable development. However, these projects lack support from the central government and are in a disadvantage when competing for support with incumbent energy sources

---

such as oil and its derivatives.

**Conclusion.** Renewable energy is playing an important role in dissociating economic development from environmental degradation. With more than 50% of the current electricity being generated from renewable energy sources, the next steps for Nicaragua's transition should involve both a cross-sectoral and decentralised approach to energy planning. Thereby, renewable energy can be integrated into highly oil-dependent economic sectors such as transport and industry. The country should adopt technologies to increase the uptake of renewable energy and leapfrog the resource-intensive development path followed by its forerunners. Nonetheless, plans and strategies should address the co-produced nature of the energy transition and enable citizen participation in the formulation and evaluation of energy and development strategies, as well as participatory decision-making. Finally, future energy plans and policies should be established as part of a politically agnostic development agenda and be measured and tracked in a multi-dimensional framework to secure progress in all facets of the energy transition.

*Keywords:* Nicaragua; Renewable energy; Smart energy system; Energy justice; Energy democracy; Sustainable development

---

## Zusammenfassung

**Einleitung.** Energie ist von grundlegender Bedeutung für den wirtschaftlichen Wachstum. Eine der Haupttriebkkräfte dieser Entwicklung ist der enorme Verbrauch von fossilen Brennstoffen, die die Volkswirtschaften auf der ganzen Welt antreibt. Mittlerweile ist dieser Verbrauch die hauptsächliche Quelle des vom Menschen verursachten Klimawandels. Erneuerbare Energien wurden zu einer der wichtigsten Strategien zur Bewältigung der gegenwärtigen Klimakrise und zum Aufbau widerstandsfähigerer und nachhaltigerer Energiesysteme ernannt. Länder auf der ganzen Welt streben den Übergang zu kohlenstoffarmen Energiesystemen an, um die nachhaltige Entwicklung zu unterstützen. In den letzten Jahren wurden Schwellen- und Entwicklungsländer durch ihre Investitionen in erneuerbare Energien zum Vorreiter. Aufgrund der bescheidenen Größe der meisten dieser Volkswirtschaften kann ein Übergang zu nachhaltigen und erneuerbaren Energiesystemen rasch und mit weniger Ressourcen erreicht werden, sobald die entsprechenden Strategien und Politiken vorhanden sind.

Mit einem enormen Potenzial an erneuerbaren Energien hat Nicaragua die Stromerzeugung aus sauberen Energiequellen zwischen 2000 und 2017 mehr als verfünffacht. Darüber hinaus nutzte das Land die dezentrale Natur der erneuerbaren Energiequellen zu ihrem Vorteil und verschaffte 2019 fast 98% seiner Bevölkerung Zugang zu moderner Energie. Dies ist ein signifikanter Anstieg von 54% im Jahr 2006. Der Fortschritt hat sich jedoch verlangsamt, und die Investitionen in erneuerbare Energien sind seit 2015 praktisch auf Null zurückgegangen. Darüber hinaus konzentrieren sich die Bemühungen zur Dekarbonisierung auf den Stromsektor und vernachlässigen andere kohlenstoffintensive Sektoren. Dieser Ein-Sektor-Ansatz schränkt die Nachhaltigkeit der nicaraguanischen Wirtschaft ein und schränkt die Energiewende des Landes ein.

**Zielsetzungen.** 1) Untersuchung des nicaraguanischen Energiesystems und dessen Vision eines Übergangs zu erneuerbaren Energien sowie Ermittlung der wichtigsten Triebkräfte und Herausforderungen. 2) Charakterisierung des Zusammenhanges zwischen Energie und Wachstum im Kontext Nicaraguas und die Identifizierung der Rolle

---

der erneuerbaren Energien in den Strategien für nachhaltige Entwicklung. 3) Entwicklung von alternativen Energieplänen für Nicaragua, die auf dem Ansatz smarte Energiesysteme und den Prinzipien von Energiegerechtigkeit und Demokratie basieren, um die Einführung erneuerbarer Energien im Land zu beschleunigen, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und eine nachhaltige Entwicklung zu fördern. 4) Erstellung einer techno-ökonomischen Bewertung der entwickelten Energiepläne. 5) Erarbeitung von Empfehlungen bezüglich der nicaraguanischen Energieperspektive und eines zügigen, gerechten und demokratischen Umbaus des nicaraguanischen Energiesystems.

**Methoden.** Ein konvergentes paralleles Design mit gemischter Methode, das sowohl qualitative als auch quantitative Daten integriert. Die aktuelle Situation des nicaraguanischen Energiesystems wird durch Schreibtischforschung definiert, wobei Informationen über Politik und Gesetzgebung, Pläne und Strategien sowie Statistiken und operative Daten gesammelt werden. Diese Informationen werden verwendet, um sowohl ökonometrische als auch Energiemodelle zu erstellen. Zeitreihen-ökonometrische Techniken, insbesondere ein autoregressiv-distributed-lag-Modell und ein vektor-autoregressives Modell, wurden eingesetzt, um die Dynamik zwischen ausgewählten wirtschaftlichen und energiebezogenen Variablen zu untersuchen und die Rolle der erneuerbaren Energien in der Entwicklung Nicaraguas zu identifizieren. Zusätzlich wurden zwei Energiemodelle (EnergyPLAN und LEAP) eingesetzt, um das Energiesystem Nicaraguas zu simulieren und alternative Energiepläne zu erstellen, die zu einem nachhaltigeren und erneuerbaren Energiesystem führen. Schließlich wurden Interviews und eine Literaturrecherche durchgeführt, um die Konzepte der Energiegerechtigkeit und der Energiedemokratie, die in letzter Zeit in Nicaragua Aufmerksamkeit erregt haben, besser zu verstehen.

**Ergebnisse.** Erneuerbare Energien haben dazu beigetragen, die Umweltschädigung in Nicaragua einzudämmen und gleichzeitig die wirtschaftliche Entwicklung zu fördern. Diese Energiequellen haben in bescheidenem Maße dazu beigetragen, den historischen Zusammenhang zwischen wirtschaftlicher Entwicklung und Umweltschädigung im Land zu entkoppeln. Diese Untersuchung ergab, dass das Potenzial zur Eindämmung der Umweltzerstörung durch erneuerbare Energien langfristig zunimmt und es daher von grundlegender Bedeutung ist, die Transformation des nicaraguanischen Energiesystems weiter zu fördern.

---

Erneuerbare Energien müssen in alle Wirtschaftssektoren integriert werden, um das nicaraguanische Energiesystem zu dekarbonisieren. Dazu müssen alternative Energierouten in Betracht gezogen werden. Die Einführung neuer Technologien im Verkehrssektor kann zu diesem Zweck beitragen. Batterie-elektrische Fahrzeuge, ein elektrisches öffentliches Verkehrssystem in der nicaraguanischen Hauptstadt und die Produktion und der lokale Verbrauch von Elektrokraftstoffen sind einige Strategien, um erneuerbare Energien in den nicaraguanischen Verkehrssektor einzuführen und die Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren. Darüber hinaus wurden Energiegemeinschaftsprojekte als eine wirksame Strategie identifiziert, um den Zugang zu modernen Energiedienstleistungen zu ermöglichen, die Probleme der Energiearmut und der sozialen Ausgrenzung anzugehen und Möglichkeiten für eine nachhaltige Entwicklung zu schaffen. Diesen Projekten mangelt es jedoch an Unterstützung der Zentralregierung, somit sind sie im Nachteil beim Wettbewerb um Unterstützung gegenüber den etablierten Energiequellen wie Öl und dessen Derivatprodukten.

**Fazit.** Erneuerbare Energien spielen eine wichtige Rolle bei der Abkopplung der wirtschaftlichen Entwicklung von der Umweltschädigung. Daher sind weitere Förderung und Integration ratsam. Da derzeit mehr als 50% des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird, sollten die nächsten Schritte für den Übergang Nicaraguas einen sektorübergreifenden Ansatz zur Energieplanung beinhalten. Auf diese Weise können erneuerbare Energien in stark ölabhängigen Wirtschaftssektoren wie Verkehr und Industrie integriert werden. Das Land sollte Technologien einführen, um den Einsatz erneuerbarer Energien zu erhöhen und den ressourcen-intensiven Entwicklungsweg, den seine Vorgänger beschritten haben, zu vermeiden. Allerdings sollten die Pläne und Strategien die ko-produzierte Natur der Energiewende berücksichtigen und die Beteiligung der Bürger an der Formulierung und Bewertung von Energie- und Entwicklungsstrategien sowie eine partizipatorische Entscheidungsfindung ermöglichen. Schließlich sollten zukünftige Energiepläne und -politiken als Teil einer politisch agnostischen Entwicklungsagenda aufgestellt und in einem mehrdimensionalen Rahmen gemessen und verfolgt werden, um Fortschritte in allen Bereichen der Energiewende zu sichern.

*Stichwörter:* Nicaragua; Erneuerbare Energien; Intelligentes Energiesystem; Energiegerechtigkeit; Energiedemokratie; Nachhaltige Entwicklung

---

## Resumen Ejecutivo

**Introducción.** La energía es fundamental para el desarrollo. En las últimas décadas, los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía que ha impulsado las economías de todo el mundo. Paradójicamente, estas fuentes de energía se han convertido en la principal fuente de cambio climático inducido por el hombre. La energía renovable ha sido identificada como una de las principales estrategias para hacer frente a la actual crisis climática y construir sistemas energéticos más resilientes y sostenibles. Los países de todo el mundo se han puesto como objetivo crear economías con bajos niveles de emisiones de carbono para apoyar el desarrollo sostenible. Recientemente, las economías en desarrollo y emergentes han estado liderando la inversión en energía renovable. Debido al modesto tamaño de la mayoría de esas economías, la transición a sistemas de energía sostenible y renovable podría llevarse a cabo rápidamente y con menos recursos una vez que se establezcan las estrategias y políticas adecuadas.

Nicaragua invirtió activamente en capacidad instalada de energías renovables en la última década, posicionándose entre los primeros líderes de la transición energética en América Latina. Con un vasto potencial de energía renovable, Nicaragua quintuplicó su generación de electricidad a partir de fuentes de energía limpia entre los años 2000 y 2017. Además, aprovechando la naturaleza distribuida de las fuentes de energía renovable, el país proporcionó acceso a energía moderna a casi el 98% de su población en 2019. Este es un aumento significativo con respecto al 54% de 2006. Sin embargo, el progreso se ha ralentizado y la inversión en energía renovable ha caído prácticamente a cero desde 2015. Además, los esfuerzos para descarbonizar el sistema energético se centran en el sector electricidad y descuidan otros sectores que tienen una huella de carbono significativa. Este enfoque monosectorial restringe la sostenibilidad de la economía nicaragüense y limita la transición energética del país.

**Objetivos.** 1) Examinar el sistema energético nicaragüense y su visión de la transición hacia las energías renovables, identificando los principales impulsores y desafíos para dicho cambio. 2) Estudiar el nexo entre energía y crecimiento económico en el contexto de Nicaragua e identificar el papel de la energía renovable en las estrategias de desarrollo sostenible del país. 3) Desarrollar estrategias energéticas alternativas para Nicaragua basadas en un enfoque de sistemas inteligentes de energía y en los principios de justicia y democracia energética para acelerar la adopción de

---

estas fuentes en el país, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar el desarrollo sostenible. 4) Realizar una evaluación tecno-económica de las estrategias energéticas desarrolladas. 5) Formular recomendaciones para acudir a una transformación rápida, justa y democrática del sistema energético nicaragüense.

**Metodología.** Un enfoque paralelo convergente de métodos mixtos que integra datos cualitativos y cuantitativos. La situación actual del sistema energético nicaragüense se definió mediante investigaciones documentales, reuniendo información referente a políticas y legislación, planes y estrategias, así como estadísticas y datos operacionales. Esa información fue utilizada para elaborar modelos econométricos y energéticos. Se analizaron series de tiempo con métodos econométricos, en particular un modelo autorregresivo de retardos distribuidos y un modelo vectorial autorregresivo, para estudiar la dinámica entre determinadas variables económicas y otras relacionadas con el sector energía e identificar el papel de la energía renovable en el desarrollo de Nicaragua. Se utilizaron dos herramientas de modelización energética (EnergyPLAN y LEAP) para simular el sistema energético nicaragüense y diseñar estrategias energéticas alternativas que conduzcan a un sistema energético más sostenible y renovable. Por último, se realizaron entrevistas y se revisó la literatura científica reciente para comprender mejor los conceptos de justicia y democracia energética, que recientemente han venido resonando en Nicaragua.

**Resultados.** La energía renovable ha contribuido a mitigar la degradación del medio ambiente en Nicaragua, al mismo tiempo que ha fomentado el desarrollo económico. Esas fuentes de energía han apoyado modestamente la desvinculación de la correlación histórica entre el desarrollo económico y la degradación ambiental en el país. En esta investigación se comprobó que las posibilidades de frenar la degradación ambiental mediante la energía renovable aumentan a largo plazo y, por lo tanto, es fundamental seguir promoviendo la transformación del sistema energético nicaragüense.

La energía renovable debe integrarse en todos los sectores económicos para descarbonizar el sistema energético nicaragüense. Para ello, se deben considerar estrategias alternativas para la planeación energética. La adopción de nuevas tecnologías en el sector transporte puede contribuir a este propósito. Los vehículos eléctricos a batería, un sistema de transporte público eléctrico en la capital nicaragüense y la producción y consumo local de electrocombustibles son algunas de las estrategias para introducir energía renovable en el sector transporte nicaragüense y reducir significativamente

---

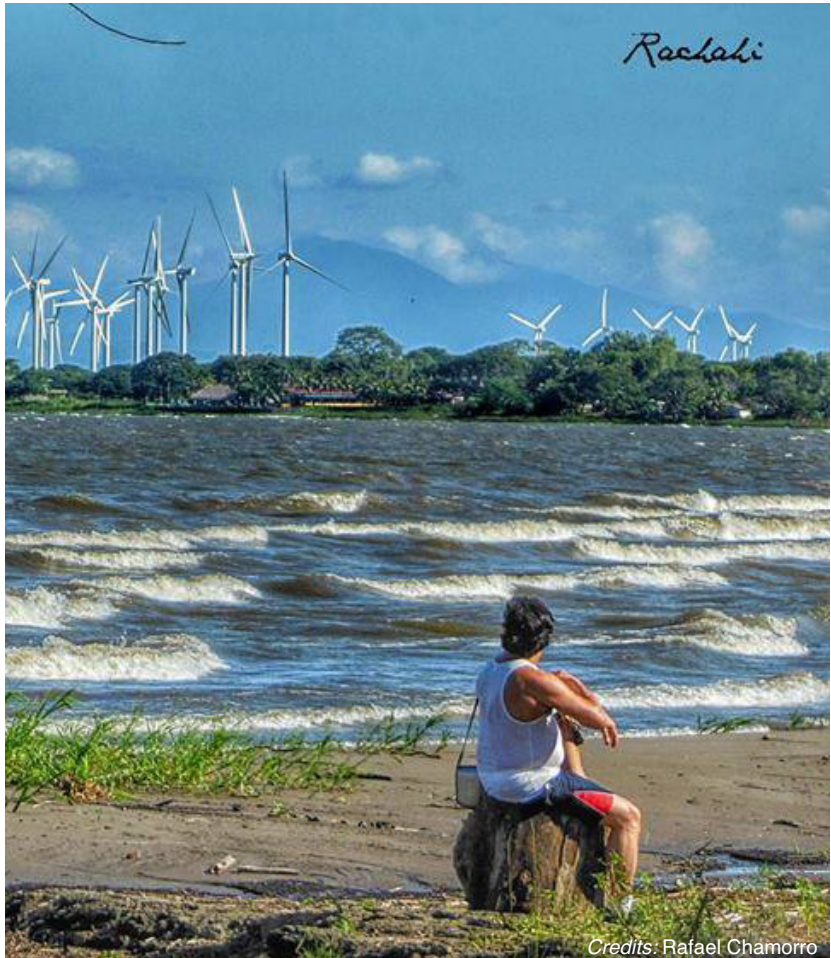
las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se determinó que los proyectos comunitarios de energía son una estrategia eficaz para permitir el acceso a servicios energéticos modernos, abordar los problemas de pobreza energética y exclusión social y crear oportunidades para el desarrollo sostenible. Sin embargo, esos proyectos carecen de apoyo del gobierno central y se encuentran en desventaja cuando compiten por este apoyo con las fuentes de energía tradicionales, como el petróleo y sus derivados.

**Conclusiones.** La energía renovable está desempeñando un papel importante en la disociación entre el desarrollo económico y la degradación ambiental. Dado que más del 50% de la electricidad actual se genera a partir de fuentes de energía renovable, los próximos pasos para la transición energética en Nicaragua deberían implicar un enfoque intersectorial para la planificación energética. De este modo, la energía renovable puede integrarse en sectores económicos altamente dependientes del petróleo, como el transporte y la industria. El país debería adoptar tecnologías modernas para aumentar el uso de energía renovable y evitar el camino hacia el desarrollo que han seguido sus precursores caracterizado por la sobreexplotación de recursos. No obstante, los planes y estrategias deberían tener en cuenta el carácter coproducido de la transición energética y permitir la participación ciudadana en la formulación y evaluación de estrategias de energía y desarrollo, así como la implementación de procesos de toma de decisiones participativos. Por último, los planes y políticas energéticas futuras deben establecerse como parte de una agenda de desarrollo políticamente agnóstica y debe dárseles seguimiento en un marco multidimensional para asegurar el progreso en todas las áreas de la transición energética.

*Palabras clave:* Nicaragua; Energía renovable; Sistema inteligente de energía; Justicia energética; Democracia energética; Desarrollo sostenible







*Rachaki*

*Credits: Rafael Chamorro*