

CUARTA ÉPOCA

GEOGRAPHICALIA

1977 - 1988 - 2000 - 2023

**EDITORIAL:**

De los problemas
territoriales a la gestión
sostenible

ARTÍCULOS:

Crisis de la vivienda en España |
Datos geoespaciales en Ecuador
| Análisis de la valoración
catastral en Ecuador y España |
Percepción del alumnado sobre
riesgos naturales | Simulación
de la población de Navarra 2050
| Planificación energética
territorial

MAPAS:

Preservación de rodales
maduros en la gestión forestal |
Cartografía climática de
precipitación media -ANE- |
Cartografía multivariable de las
dinámicas turísticas y
demográficas | Mapa de Paisaje
como herramienta de gestión
territorial

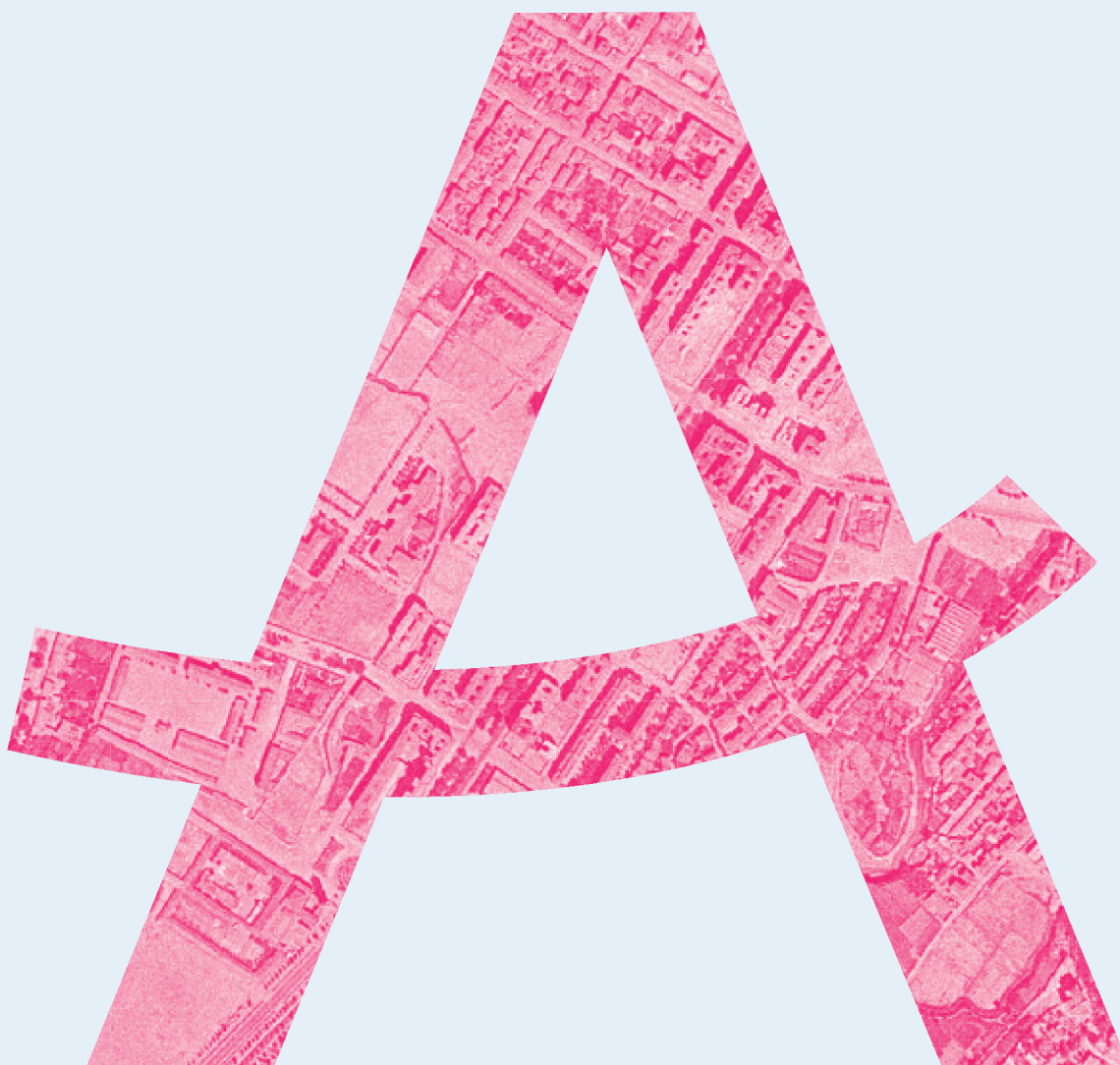
**NOTAS DE INVESTIGACION
Y RESEÑAS:**

Sensores remotos y de proximi-
dad para la monitorización del
suelo en áreas quemadas | Le
temps des liens | Planificación
adaptativa y resiliencia ante
sequías e inundaciones |
Diálogos entre geografía y
urbanismo



1542

Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio
Universidad Zaragoza



Planificación energética territorial: el potencial de autoabastecimiento de energías renovables en el territorio y PDOT

Esteban F. Zalamea-León, Lorena Vivanco-Cruz,
Antonio Barragán-Escandón y Anabel Cruz-Naranjo

Planificación energética territorial: el potencial de autoabastecimiento de energías renovables en el territorio y PDOT

Esteban F. Zalamea-León*, Lorena Vivanco-Cruz, Antonio Barragán-Escandón, y Anabel Cruz-Naranjo

Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril y calle Agustín Cueva, Cuenca, 010201 Cuenca, Ecuador

*esteban.zalamea@ucuenca.edu.ec

Resumen: Ecuador es un país en desarrollo con crecimiento económico y poblacional consistente, ello implica necesidades de recursos y energía en crecimiento. Por condiciones ambientales y económicas, la electrificación de la mayoría de los consumos energéticos resulta prioritario, hecho que incide en mayor presión en la producción de electricidad. En este ámbito se expone en este manuscrito la metodología del proyecto de investigación en desarrollo “Planificación energética territorial: Situación actual y metodología para integración de generación y redes eléctricas en el territorio y PDOT”, el cual busca establecer el potencial desarrollo de sistemas de generación y distribución de fuentes energéticas limpias in situ, en unidades políticas menores, integrándolos en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT). A partir de análisis y estudios precedentes que han detectado la capacidad y potencial energético para aprovechamiento solar, eólico, hídrico, residuos en otros locales, por ello es necesario metodologías que permitan establecer de forma rápida el recurso energético local. Desde la realidad local-municipal es necesaria la priorización de tecnologías que permitan el adoptar aquellas mejores opciones de acuerdo a la oportunidad que representen, considerando afectaciones colaterales, adaptación al medio, a la necesidad social, y que resulten rentables y en integridad con el medio ambiente. Se exponen los resultados del proyecto en mención.

Palabras clave:

Desarrollo territorial, planificación territorial, desarrollo energético, sector eléctrico, energías renovables.

Territorial energy planning: the potential for self-sufficiency in renewable energy in the territory and PDOT

Abstract: Ecuador is a developing country experiencing consistent economic and population growth, which implies increasing demands for resources and energy. Due to environmental and economic requirements, the electrification of most energy consumption sectors has become a priority, resulting in greater pressure on electricity production at both macro and micro scales. In this context, this manuscript presents the methodology of the ongoing research project “Territorial Energy Planning: Current Situation and Methodology for the Integration of Generation and Electrical Grids into the Territory and PDOT”, which aims to establish the potential for the development of on-site clean energy generation and distribution systems in smaller political units, integrating them into the De-

Recibido: 01-09-2015. Aceptado: 09-12-2025.

DOI: https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.20257712254

velopment and Land Use Plans (PDOT). Based on previous analyses and studies that have identified the capacity and energy potential for harnessing solar, wind, hydro, and waste resources in other locations, there is a need for methodologies that allow for the rapid assessment of local energy resources. At the local-municipal level, it is necessary to prioritize technologies that enable adopting the best options according to the opportunities they represent, considering collateral impacts, adaptation to the environment, and social needs, and ensuring profitability and environmental integrity. This paper presents partial results of the aforementioned project.

Keywords:

Territorial development, territorial planning, energy development, electric power sector, renewable energy.

1. Introducción

SE HA ESTIMADO que las regiones pobladas ocupan el 3% de la superficie de la Tierra, en éstas se genera más de la mitad de la contaminación ambiental del planeta incluyendo el 75% de las emisiones de carbono (Grewal & Grewal, 2013). Pero las necesidades humanas van más allá, los recursos requeridos para nuestra especie han afectado hasta el año 2021 el 14,6% de superficie disponible de la tierra firme habitable (World Economic Forum, 2021). Por otra parte, el consumo de energía es incremental en el mundo y en Ecuador, los países con crecimiento poblacional y económico son estratégicos para mitigar el impacto de la necesidad de creciente generación, posibilitando a futuro desarrollar economías alimentadas energéticamente desde fuentes limpias. En las dos primeras décadas del presente siglo se han desarrollado para el sector eléctrico proyectos desde fuentes hidroeléctricas, incrementando la producción solo desde esta fuente en un 81% entre 2007 y 2017, con la expectativa de llegar a abastecer hasta el 93 % de energía en Ecuador (Ponce-Jara et al., 2018). Ecuador tiene 5178 MWp en hidroeléctricas instaladas, es un potencial hidroeléctrico considerable y uno de los mayores del mundo por km², existe ahora en el portafolio estatal un crecimiento de la capacidad futura que multiplica por cinco la potencia actual (Salinas, 2025). Pero a pesar de este importante potencial, el tener una matriz energética centralizada y dependiente de un solo tipo de recurso energético supone un alto riesgo, una matriz energética no diversificada es muy frágil (Espinoza et al., 2017), lo cual ha quedado sentado con las crisis por déficit de generación eléctrica suscitadas desde 2024. El diversificar la matriz eléctrica de un país o región resulta estratégico para reducir el riesgo y susceptibilidad por escases de uno o otro recurso (Pelaes Samaniego & Espinoza Abad, 2015; REN21, 2017). Una matriz energética diversificada implica robustez y capacidad para complementar unas fuentes de energía intermitentes con otras, buscando el aprovechamiento máximo de las fuentes limpias y económicas, complementándose con otras fuentes de respaldo más costosas y contaminantes en lo mínimo posible. El abastecimiento de energía debe estar en concordancia con las condiciones de demanda, disponibilidad temporal de recursos, con-

siderando presión y exigencias a las redes de distribución locales y regionales, buscando la optimización económica. Actualmente, la electricidad obtenida desde tecnologías como la eólica y fotovoltaica es la de mayor crecimiento alrededor del mundo, y desde las que se obtiene ahora el mejor precio por kWh, por lo menos en las regiones en donde existe viento e irradiación abundantes (International Energy Agency, 2024). No obstante, en Ecuador, por la implementación temprana, difusión y alta pluviosidad, las hidroeléctricas presentan condiciones aún muy favorables en costos, pero que deben complementarse con fuentes presentes en estiajes. Para la masificación de estas tecnologías verdes y económicas a gran escala, la principal barrera resulta en la intermitencia de los recursos energéticos limpios, así como la intermitencia de las demandas, desfases que son la principal barrera para lograr un abastecimiento total desde fuentes limpias. Sin embargo, el ensamblaje conjunto de distintas fuentes, el desarrollo de redes inteligentes (Smart grids) y el desarrollo de sistemas y tecnologías para almacenamiento van haciendo posible el incremento de la capacidad de autoaprovisionamiento a escala micro, en comunidades e incluso por cada predio o edificación (Gao et al., 2022).

Por otra parte, el Ecuador no es ajeno al problema energético mundial, y ello se manifiesta en los cuantiosos recursos estatales dirigidos con subsidios a combustibles que superan a los recursos destinados a educación y salud para el 2023, el gasto de estos subsidios alcanzó los 2667 millones de dólares y con proyección de superar los \$ 4000 millones dependiendo de la problemática energética y de los precios mundiales de la energía. Los recursos de los subsidios a combustibles en buena parte se destinan a importaciones (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023). En 2024 el déficit de electricidad además implicó gasto público no previsto en importaciones desde Colombia por \$ 334 millones USD, y con pérdidas para el país por el déficit eléctrico que al final supusieron entre el 1 % y 1,5 % del PIB del país. De ello es evidente que el país requiere de inversión y planificación al sector energético, una planificación de alternativas energéticas variadas que permita la migración de demandas abastecidas tradicionalmente desde combustibles a

electricidad, sobre todo transporte, pero que exigen e implicarán afectar recursos y presión al territorio, para incrementar la generación de electricidad.

Los planes de ordenamiento territorial se desarrollan de modo fragmentado en municipios. En el 2012, entre otros aspectos ambientales y económicos, se plantea entre los objetivos estratégicos nacionales el “involucramiento de los GAD en reducción de emisiones” (MAE Ecuador, 2012). También en el 2019, se crea “Herramientas para la integración de criterios de cambio climático en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial” (MAE, 2019), sobre todo enfocado en me-

didias de emergencias que se prevé que surgirán en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT). No obstante, aún no surgen lineamientos para la inclusión de zonificar los lugares de generación y menos aún de energías limpias alternativas, económicas y que dinamicen la economía local. Existe la potencialidad de introducir además alternativas de microgeneración y generación para autoconsumo, ello se considera actualmente como una de las alternativas más sostenibles y de menor impacto en el territorio localmente, los propios usuarios generan su energía, contribuyendo a incrementar la mano de obra local y logrando además autosuficiencia y democratización de la energía (IRENA & ILO, 2021).

2. Estado del arte

LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA se constituye en una política pública que ordena las actuaciones de las infraestructuras que dan soporte a esta actividad, además de prever las necesidades energéticas futuras para asegurar su debida atención. “La anticipación y la constante adaptación de las previsiones a la realidad cambiante se convierten así en parte integrantes y en herramientas imprescindibles de la política energética” (Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025, 2021). El ejercicio de la planificación del sector energético demanda incorporar decisiones vinculantes en su mayor parte indicativas, teniendo en cuenta el comportamiento futuro de la demanda, los recursos necesarios para satisfacerla, los criterios de protección medioambiental y costos subyacentes de la tecnología y producción. En Ecuador, esta planificación se operativiza a través de los planes sectoriales del Ejecutivo con incidencia en el territorio, que son instrumentos emitidos por los ministerios correspondientes y que deben articularse con el Plan Nacional de Desarrollo y su Estrategia Territorial Nacional (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo, 2016).

Este instrumento de planificación sirve para coordinar la localización e impactos de las grandes infraestructuras del sistema energético nacional y regional, que permita una vertebración coherente con los instrumentos de planificación local. Pues, se trata de sectores que “soportan su actividad en redes de cuyo diseño, en lo que a los grandes corredores se refiere, dependen al final la racionalidad, la eficiencia e incluso la propia garantía de suministro” (Fresco, 2023).

El cambio de paradigma energético implica, como se mencionó, la necesidad de electrificar en la mayor medida posible las distintas necesidades energéticas humanas y a partir de ello, abastecerlas con electricidad limpia. Desde el punto de vista de impacto humano, la presencia y consecuencia de las ciudades en el territorio, el lograr comunidades sustentables incluso energéticamente autosuficientes, supone potenciar la microgeneración para conseguir el autoaprovisionamiento energético.

La generación distribuida, la microgeneración limpia complementa la generación eléctrica a gran escala correctamente incorporada, en conjunto deben propiciar redes seguras y abastecimiento estable (Lund, 2012). En la matriz energética diversificada se propende a que la generación eléctrica convencional, entendida esta como aquella fundamentada en combustión, se reduzca al máximo y eventualmente desaparezca. Para ello el concepto de redes de distribución deberán maximizar la inclusión de producción amplificable y entre esto de micro generadores que tienden a incorporarse en el territorio de manera menos impactante, cada persona y comunidad generando su propia energía en una escala menos impactante al medio natural y desde distintas fuentes, en concordancia con las demandas (Bie et al., 2013; Kylili & Fokaides, 2015; van Leeuwen et al., 2017). Para propiciar este escenario ideal, distintas tecnologías están ya en condición de madurez, incluso de forma rentable, por ende, es necesaria la planificación espacial y adopción territorial a nivel local, lo cual haga factible su eventual inclusión, promoción y crecimiento en el territorio a escala menor municipal, incluso parroquial.

En Ecuador tradicionalmente se ha considerado y ha adoptado la tecnología hidroeléctrica como renovable a gran escala gracias al gran potencial de fuentes hídricas existentes. No obstante, por su naturaleza e incapacidad de un crecimiento indefinido ha provocado el estancamiento del desarrollo de esta tecnología en la mayor parte de los países. En cambio, la tendencia actual denota la tecnología solar y eólica como aquellas preponderantes compitiendo como las más económicas. La tecnología fotovoltaica presenta la aptitud de incorporarse en edificaciones, ciudades, incluso en simbiosis agrícolas, en instalaciones micro de forma rentable, permitiendo incluso la autosuficiencia de cada región, incluso cada predio (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2022). Por otra parte, el aprovechamiento de residuos puede resultar estratégico ambientalmente desde dos aristas, al utilizar desechos para la generación. A partir de la descomposición de residuos: Además, existen tecnologías

como la geotermia, en donde el recurso existe, implica un impacto mínimo en ocupación espacial, no obstante, requiere el recurso presente a profundidades explotables. Cada una de estas y otras posibilidades de electrificación, sumadas a medidas de eficiencia energética, deben analizarse desde el punto de vista y realidad local, como una oportunidad económica.

Al arranque del presente siglo en Inglaterra, Fudge & Peters, (2009) establecen la incidencia de los gobiernos locales en el compromiso local para adoptar estrategias individuales para alcanzar comunidades energéticas sostenibles-endógenas y reducir el calentamiento global. A nivel local es donde las políticas territoriales posibilitan reducir la inequidad y disponibilidad de recursos de forma más práctica que a nivel regional o nacional. A principios del siglo el gobierno federal de Alemania establece no solo la factibilidad de que la transición a 100 % de energía renovables sea posible, rentable y segura (Busch & McCormick, 2014). Además, estos autores analizan tres municipalidades que han alcanzado la autosuficiencia energética en Alemania ya en el 2012 y determinan que ello es posible si dos aspectos se conjugan: la disponibilidad del o los recursos para obtener la energía y el segundo, la voluntad política que guía lineamientos y estrategias. En el estudio descrito se detecta que en las tres municipalidades converge la decisión de sus respectivos alcaldes (Prenzlau, Feldheim y Turnou Preilack) a partir de la decisión política de la autoridad y municipal en común acuerdo con la población, de incorporar el autoabastecimiento desde energías renovables desarrolladas dentro de los propios límites. Las tres municipalidades basan su autoabastecimiento en la energía solar combinando plantas comunitarias con plantas de autoabastecimiento por predio, plantas de biogás de desechos agrícolas y eólica más eólica con conversión a hidrógeno, geotermia, sumado todo ello a eficiencia energética. A pesar de que cuando se implementan estas tecnologías en estos municipios a principios de la década pasada, los costos de estos sistemas alternativos de generación no resultaban atractivos como resultan hoy, no obstante, localmente, se asegura el financiamiento dado sobre todo que dicha inversión se dirige a la dinamización de la economía local, lo que en el fondo implica inversión local. Se advierte la diferencia de tecnologías incorporadas a pesar de tratarse de tres municipios cercanos, así, un municipio adopta dos tecnologías (Turnow-Preilack), el segundo tres (Feldheim) y el tercero cinco tecnologías (Prenzlau). Se concluye que cada localidad incorpora independientemente distintas tecnologías, sin que exista una regla general para ello (Busch & McCormick, 2014).

Perrin & Bouisset, (2022) analizan la posible incidencia que los gobiernos locales de zonas con poblaciones menores a 4000 habitantes y autores políticos para el impulso de renovables localmente en el territorio. En la revisión definen los retos de gobierno para introducir las tecnologías, determinan el cómo atribuir responsabilidades para que estas impulsen efectiva-

mente el autoaprovisionamiento, desde casos existentes de unidades políticas que han integrado la autosuficiencia energética. Analizaron cuatro municipalidades francesas, definiendo la oportunidad particular de opciones renovables aplicadas en cada uno de los territorios. Además, en cada uno de estos territorios se define en forma de diagnóstico cuánta energía renovable se obtiene y desde qué fuentes en proporción, respecto a la demanda. Se determinó que, en los cuatro municipios, la diferencia va desde 103% de generación respecto a necesidad de energía hasta un 7 % en el caso de la proporción en nivel de autoaprovisionamiento, considerando todas las tecnologías conjuntas que han incorporado. En los cuatro municipios se encontró que existen entre cinco y ocho tecnologías de energía limpia adoptadas. Se concluye cómo cada municipio adopta la transición energética y los compromisos que se adquieren a nivel local, incluso en mejorar la línea base de energía, como planteamientos de objetivos propios y las políticas que cada uno adopta. Además, se encuentra que cada gobierno local debe impulsar, incluso debe estar obligado a tomar posición por distintos tipos de energía, cada uno por sus razones y capacidad específica. Además, se destacan iniciativas nacionales como reconocimientos y apoyo económico a los municipios que alcancen el autoabastecimiento total.

Localmente, investigaciones respecto a capacidad de autoaprovisionamiento se ha desarrollado mayormente en zonas urbanas como en la investigación desarrollada por Barragán-Escandón et al., (2020) de distintas tecnologías y potencial de distintas fuentes en ámbito urbano, en este estudio se define que en Cuenca, Ecuador como ejemplo de ciudad de escala intermedia, ecuatorial y andina, la máxima demanda recae en transporte y el mayor potencial para autoabastecimiento recae en la tecnología fotovoltaica. Otros estudios recurrentes son respecto al potencial de distintas tecnologías como los estudios desarrollados por Jara-Alvear et al., (2023) para la geotermia o el potencial fotovoltaico en áreas urbanas como los casos analizados por Ponce, (2019) e Idrovo-Macancela et al., (2025), no obstante, la incorporación de la planificación energética y el fomento a la microgeneración y autoabastecimiento territorial, aún no se explora desde el Ecuador. Las municipalidades y juntas parroquiales son ajenas a los entes de generación y distribución de energía hasta el momento, siendo este sector potencialmente uno de los principales dinamizadores de la economía y a la vez, uno de los más afectantes al medio.

El objetivo general del trabajo presentado en este reporte es una propuesta para generar lineamientos y directrices para la planificación energética territorial de la región austral del Ecuador, que puedan asumirse en los Planes de Ordenamiento Territorial de los gobiernos provinciales, cantonales y locales e incluir en el accionar local la microgeneración y generación energética limpia como una alternativa de desconcentración del modelo energético, tendiente a desarrollar un crecimiento

ordenado de la electrificación limpia en el país y potenciando a la vez la autosuficiencia energética local. En este trabajo se expone la metodología de trabajo, que está planificado concluirse con un prototipo de Plan de Ordenamiento que contenga un capítulo de energía, en el año 2026.

Como objetivos específicos para llegar al alcance propuesto está en primer lugar el establecer la situación actual y el modelo territorial de los proyectos estratégicos de energía de la Región 6 de Ecuador, para analizar a partir de una línea base la presencia o no de lineamientos en la incorporación de generación e infraestructura energética en la planificación del ordenamiento territorial provincial y cantonal, para ello se contacta a autores políticos de unidades políticas que incorporan plantas de generación. En segundo lugar, el establecer herramientas

de aplicación rápida para determinar el potencial energético, en regiones políticas, en este trabajo se presentan los modelos a aplicar para incorporar las tecnologías base de microgeneración: Solar Fotovoltaica, Eólica, Residuos, Minihidros, fuentes preponderantes con alta probabilidad de existir en unidades políticas de Ecuador. Y en tercer lugar, el elaborar una guía de lineamientos para quienes desarrollan los planes de ordenamiento territorial provincial que permitan impulsar estrategias para el crecimiento del sector energético regional. Se formula dentro de un proyecto de planificación territorial, consultorías que típicamente se vienen desarrollando en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca, el Capítulo Energía piloto. En este manuscrito se desarrolla la descripción metodológica y se incluyen además algunos resultados de la primera parte del desarrollo del proyecto.

3. Metodología

INICIALMENTE SE DETERMINA cuál es la situación actual (problemática y modelo territorial actual) del sector energético en la zona 6 que comprenden las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago. Esta zonificación corresponde a la división territorial establecida por la Secretaría Nacional de Planificación como parte del sistema nacional de planificación, y constituye la unidad territorial utilizada para articular políticas sectoriales y procesos de planificación regional; así como también la interacción, si existiese alguna, de los gobiernos locales frente al suministro y generación energética en el propio territorio. Se busca definir la consideración o no del provisionamiento y seguridad energética local, en cuanto a espacio físico considerado para ello, equipamiento de plantas de generación y redes de energía en su territorio. Para ello, se dispone del compromiso e información disponible en Elecaustro en sus bases de información. Entender actualmente cómo se da la coordinación o no de los gobiernos locales y el sector energético, prioritariamente en donde existen proyectos estratégicos de este sector como las parroquias en donde se localizan el Parque Eólico Huascachaca (Eólica), Hidroeléctrica Minas de San Francisco o Sopladora. Para ello, se establece una línea base respecto a la presencia o no de estas consideraciones, y cómo se ha desarrollado la incorporación de infraestructura energética de generación y distribución desde el punto de vista normativo zonificado. Además, entender cómo la presencia de esta infraestructura ha sido incorporada, aceptada o afecta los territorios en donde se emplazan los proyectos energéticos. Para ello se plantea, el análisis y entrevistas a autoridades locales de tres gobiernos locales en donde están presentes sistemas de generación actuales. Se buscarán casos donde exista infraestructura y que por lo menos en uno incorpore un sistema de generación eléctrica. Posteriormente y de ser oportuno, se deberá extender ese estudio base a más casos de estudio.

Se debe establecer y analizar la presencia o no de estimaciones de potencial energético y lineamientos para la incorporación de generación e infraestructura energética en los planes de ordenamiento territorial de los gobiernos locales.

En casos exitosos alrededor del mundo, se han encontrado unidades políticas mínimas en donde gobiernos locales han impulsado el autoabastecimiento y cómo alcanzar la neutralidad energética. Se propone buscar información disponible de estos como referentes para determinar cómo se han implementado, fomentando y organizando los lineamientos para la integración favorable de las tecnologías limpias y la microgeneración. A priori herramientas previamente adoptadas para la toma de decisiones son las técnicas multicriterio con carácter cualitativo más el análisis técnico a partir de información preliminar determinados en investigaciones previas (Jara-Alvear et al., 2023; Villacreses et al., 2022), para definir las mejores opciones desde el punto de vista cuantitativo que reflejen en articulación a partir de ambas calificaciones las mejores opciones locales. Establecer un conjunto de estrategias a seguir por parte de los entes gestores de los planes de ordenamiento territorial para que se puedan incorporar sistemas de macro generación proyectadas y de promoción y desarrollo de micro generación de electricidad limpia a nivel local de forma priorizada y en concordancia con la realidad local. Los lineamientos para la adopción de técnicas multicriterio se definirán con preguntas preestablecidas aplicadas a expertos locales y que, por ejemplo, en Cuenca han permitido establecer las mejores opciones a analizar localmente en cuanto a condiciones ambientales o de aceptación social (Barragán-Escandón et al., 2019). A través de herramientas multicriterio previamente aplicadas ya en nuestro medio es factible preestablecer las opciones energéticas de a provisionamiento más apropiadas. Luego con información disponible de mapeo

de fuentes energéticas, información de la capacidad climática, vientos, incluso alternativas ya mapeadas como geotermia, se establece el potencial energético a los de la capacidad energética como consecuencia de la presencia de uno u otro.

Para el caso de territorios o unidades territoriales en donde no se han determinado potenciales energéticos, se propone plantear herramientas que permitan estimar el potencial energético de forma rápida sin excesivos recursos. Se propone la toma de imágenes con dron que permita estimar superficies y pendientes de ríos, en el caso de ser necesario. Para ello los investigadores proponentes de esta investigación han efectuado estimaciones de potencial energético a nivel local, por ejemplo, potencial fotovoltaico en zonas urbanas, aplicando la metodología establecida por A. Barragán-Escandón et al., (2019a), Potencial de residuos sólidos A. Barragán-Escandón et al., (2020), potencial de minihidros (1) (E. A. Barragán-Escandón et al., 2020), potencial eólico (Morocho et al., 2020).

Para determinar el potencial de minihidroeléctricas, se calcula con las condiciones promedio de la eficiencia mecánica del equipo hidroeléctrico η_{hi} , la densidad del agua ρ_a , aceleración de la gravedad g . Luego se necesitan dimensionamientos del caudal disponible en m^3/seg . Q_e y el desnivel existente en el territorio H_n , que son datos particulares de cada fuente en una región. A partir de estos datos el potencial mini hidroeléctrico es el siguiente:

$$P = \eta_{hi} \cdot \rho_a \cdot g \cdot Q_e \cdot H_n \quad (1)$$

Para la estimación del potencial solar se requiere la superficie de techos disponibles lo cual se puede tomar desde fotos satelitales complementado con herramientas de información geográfica, el insumo de ocupación de suelo por parte de edificaciones son datos que varias unidades políticas van incorporando en sus sistemas de información geográfica. En este caso se penalizan por condiciones geométricas de techumbre, pérdidas por inclinación y orientación, espaciado entre paneles, restricciones por accesibilidad y márgenes en techumbres. A través de los modelos siguientes se puede establecer el potencial fotovoltaico para estimación solamente en cubiertas (2).

$$P_{pv} = AFV \cdot 1 \cdot Fr \cdot \eta_r \quad (2)$$

en donde,

P_{pv} , potencial fotovoltaico en kWh/año.

AFV , area disponible en techumbres m^2 .

1 , irradiación promedio anual en kWh/ m^2 .

Fr , corrección por integración arquitectónico.

η_r , factores de desempeño tecnológico.

Luego, para estimar las restricciones arquitectónicas, se debe contemplar el siguiente modelo (3).

$$Fr = C_{con} \cdot C_{prot} \cdot C_{sh} \cdot C_{or} \cdot C_{in} \cdot C_{GCR} \cdot C_{as} \cdot C_{FV} \cdot C_{ST} \quad (3)$$

en donde,

C_{con} , restricciones por construcción.

C_{prot} , restricciones debido a edificios históricos y patrimoniales.

C_{sh} , restricciones debido a sombras.

C_{or} , restricciones debido a la orientación de la superficie.

C_{in} , restricciones debido a la inclinación de la superficie.

C_{GCR} , restricciones debido al espaciamiento entre los paneles solares.

C_{as} , restricciones debido a las áreas requeridas para acceso y mantenimiento.

C_{FV} , disponibilidad para la instalación de paneles solares fotovoltaicos.

C_{ST} , disponibilidad para la instalación de paneles solares térmicos.

En cuanto al potencial energético del metano, este se obtiene calculando las emisiones de los rellenos sanitarios utilizando las directrices sobre disposición de residuos. La generación de metano resulta de la descomposición de la materia orgánica en los residuos, lo que produce combustible que energiza la producción eléctrica. Las emisiones dependen de la descomposición del material a lo largo de varios años y no son constantes; las emisiones más significativas ocurren al inicio, pero disminuyen con el tiempo a medida que el carbono se consume en condiciones anaeróbicas, no obstante, con una disposición de residuos permite una generación constante, incluso posiblemente creciente. Para estimar este potencial, es factible establecer el promedio de deshecho biodegradable per cápita, aplicando el siguiente modelo (4)

$$CH_4 \text{ rs} = POP \cdot W_a \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot FC \cdot FCH_4 \cdot C_{mw} \cdot (1 - OX) \quad (4)$$

en donde,

$CH_4 \text{ rs}$, metano desde residuos sólidos.

POP , población.

W_a , cantidad de residuos per cápita.

DOC , fracción de carbono orgánico degradable en los residuos brutos, en kg C/kg de residuo.

DOC_f , fracción del carbono orgánico degradable que se descompone.

FC, factor de corrección del CH₄ por descomposición aeróbica durante el año de disposición.

FCH₄, fracción de CH₄ en el gas generado en el relleno sanitario.

Cmw, relación de pesos moleculares CH₄/C.

OX, factor de oxidación.

Para el cálculo de potencial eólico se aplica el siguiente modelo (5)

$$TI = \sigma / v^- \quad (5)$$

en donde,

TI, intensidad de turbulencia

σ , velocidad del viento

v^- , velocidad media del viento

La potencia generada por una turbina eólica, denotada como, se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Pw = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot Cp \cdot \eta g \cdot \eta b \cdot v^3$$

en donde,

Pw, Potencia generada por la turbina (W)

ρ , Densidad del aire (kg/m³), típicamente 1.225 kg/m³ a nivel del mar, y disminuye con la altitud

A, Área barrida por el rotor (m²)

Cp, Coeficiente de potencia del rotor, que representa la fracción de la energía eólica total que la turbina puede convertir en energía eléctrica (su valor depende del tipo de turbina, y suele estar entre 0.35 y 0.59)

ηg , Eficiencia del generador

ηb , Eficiencia de la caja de engranajes (multiplicadora)

v , Velocidad del viento (m/s)

La densidad del aire, el área del rotor, las eficiencias y el coeficiente de potencia pueden considerarse valores constantes para una turbina específica en un sitio determinado. Sin embargo, la velocidad del viento no es constante, sino un valor variable e impredecible. Como se observa en la ecuación, la potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Por tanto, la selección de la ubicación de las turbinas eólicas debe incluir necesariamente una buena disponibilidad de recurso eólico para lograr una producción eléctrica óptima y obtener los rendimientos financieros esperados.

La curva de potencia representa la potencia eléctrica generada en función de la velocidad del viento a la altura del buje del generador. Para obtener datos eólicos precisos, se deben realizar mediciones en el sitio de interés durante al menos un año ininterrumpido. El equipo utilizado (torres de medición, anemómetros, veletas y registradores de datos) es fundamental, ya que mediciones inadecuadas afectarán la estimación de la energía que podrá generar el parque eólico en operación.

4. Resultados

4.1. Percepción de autoridades del territorio frente a existencia de plantas y empresas de generación

EN PRIMERA INSTANCIA se realiza un acercamiento en dos territorios y tres instancias políticas en donde existen ya instalados sistemas de generación de electricidad a gran escala, entrevistando a autoridades locales (Imagen 1). En este trabajo de diagnóstico se pudo establecer a nivel político la percepción de las autoridades respecto a la inserción en todos los aspectos de estas infraestructuras. Para ello se entrevista al alcalde del cantón Sevilla de Oro, uno de los cantones con mayor capacidad hidroeléctrica instalada en Ecuador. Acá se aloja aproximadamente el 20 % de la potencia nacional instalada, pero en ella habitan apenas 0,026 % de la población del país. Considerando estas magnitudes y la importancia de la infraestructura existente respecto a la reducida población, sería esperable que exista un fuerte impulso económico y desarrollo para el lugar;

no obstante, por el modelo centralizado resulta en una separación generalizada respecto a esta industria energética, el territorio y su población. Si bien se generan puestos de trabajo, no son en la magnitud esperada dentro de la población local, de hecho, se trata de un cantón con un fenómeno de despoblamiento sostenido. Si bien existe inversión local, los recursos se centran en la infraestructura relacionada al complejo hidroeléctrico y sus necesidades, mas no en la población. El segundo caso analizado es el municipio de Saraguro que aloja un complejo eólico con capacidad para abastecimiento regional y local, la planta eólica de Huasachaca. Acorde a la percepción de la autoridad municipal, la empresa regional se involucra decididamente en el desarrollo del territorio, también existe inversión local, se ha desarrollado infraestructura e incluso labor social. Estos mismos criterios son entregados por el presidente de la Junta parroquial de Chiquintad, en donde se tiene una visión positiva de la presencia de la empresa generadora en el territorio y los aportes sociales que se implementan en el territorio. Esta percepción del personero puede ratificarse en publicaciones locales recientes (Radio Visión, 2024). Además, se manifiesta

que la infraestructura desarrollada va más allá de la necesaria para el funcionamiento de la planta energética. En conclusión, luego de las reuniones con los máximos personeros, se concluye

una mayor preocupación, cercanía y adaptabilidad de empresas de generación regional frente a empresas con alta generación para provisión nacional.



Imagen 1. Entrevista a las autoridades.

4.2. Estimación de potenciales energéticos

OTRA INSTANCIA DEL PROYECTO para el desarrollo del capítulo energía en los planes de ordenación territorial es a continuación de determinar proyectos nacionales de generación en el territorio proyectados y de establecer su área de emplazamiento y de influencia, el detectar el potencial de microgeneración. En este sentido se propone establecer qué debería contemplar dicho capítulo. Para ello se considera fundamental la presentación de la potencial demanda energética y los potenciales recursos energéticos renovables con posibilidades de revertirse en electricidad. Las parroquias Nazón y Sageo pertenecientes al cantón Biblián, en la región centro-sur andina de Ecuador, se da la necesidad de actualizar sus planes de ordenamiento territorial, por ello se plantea en estos territorios el desarrollo del prototipo del capítulo energía. Se levanta y analiza las demandas de energía, considerando que dentro de la etapa de diagnóstico se requiere realizar levantamientos socioeconómicos, por lo que insumos el trabajo en campo contempla el despliegue de evaluación de demandas y para ello en la etapa de diagnóstico se plantea dentro de la labor el descifrar costumbres de consumo de la población y a través del sistema de información geográfica de la empresa distribuidora, se obtienen las demandas de electricidad por predio. En el Ecuador la tecnología más difundida para autoabastecimiento energético particular por costo, facilidad y potencial es la solar fotovoltaica, por ende, desde fotografías aéreas y apoyado con la herramienta de dimensionamiento de Google Earth, se obtiene el potencial fotovoltaico por predio escaneado. Esta metodología ha sido ampliamente desarrollada desde la década pasada en varios estudios (Lukač & Žalik, 2013) (Srećković et al., 2016) y recientemente se ha

implementado también en el país (A. Barragán-Escandón et al., 2019b) (Zalamea-León et al., 2024). Este estudio está en proceso, pero resultados iniciales muestran que el potencial de los techos para incorporar fotovoltaicos excede por lejos las demandas de las viviendas y edificaciones típicas. Sin embargo, es importante mencionar que en las dos parroquias no existen edificaciones industriales que son las que más electricidad demandan. La limitación para aprovechar dicho potencial es las limitaciones que se aplican por parte de la distribuidora para generación ya que la regulación admite conexión a red para sistemas fotovoltaicos que generen máximo la demanda de la edificación (Marco Normativo de La Generación Distribuida Para El Autoabastecimiento de Consumidores Regulados de Energía Eléctrica, 2024).

De lo que se ha podido establecer en casos iniciales de relevamiento de edificaciones que se han desarrollado ya el potencial fotovoltaico, en la gran mayoría, la techumbre excede significativamente la necesidad espacial para alcanzar con fotovoltaicos, las demandas propias. Solamente con el potencial fotovoltaico es factible abastecer la totalidad de las demandas, en algunos poblados hasta en 25 veces, solamente con el potencial de los techos. Por las bajas demandas, incluso gran cantidad de edificaciones sin usuarios, hace factible que el potencial solar se vea limitado más bien por la intermitencia solar, que exigiría sistemas o tecnologías que permitan el almacenamiento eléctrico.

Otros dos estudios que están en proceso son la determinación del potencial mini-hidroeléctrico del río Burgay y el potencial eólico de las áreas rurales al igual que residuos. Para ello se están empleando las metodologías establecidas por Barragán-Escandón (2018) en un estudio previo, que pueden complementar al abastecimiento solar.

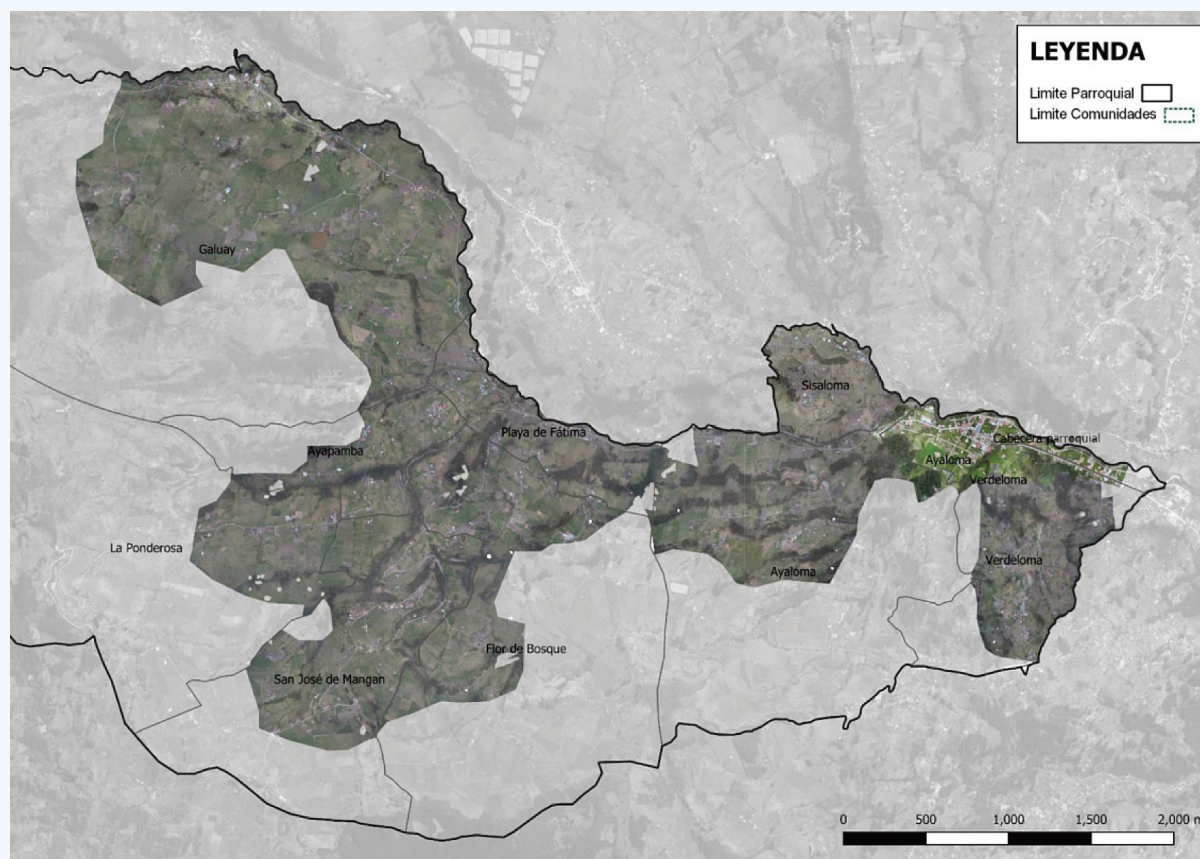


Imagen 2. Imagen satelital de la parroquia Nazón y detalle levantado con dron para exploración de potencial solar en cubiertas.

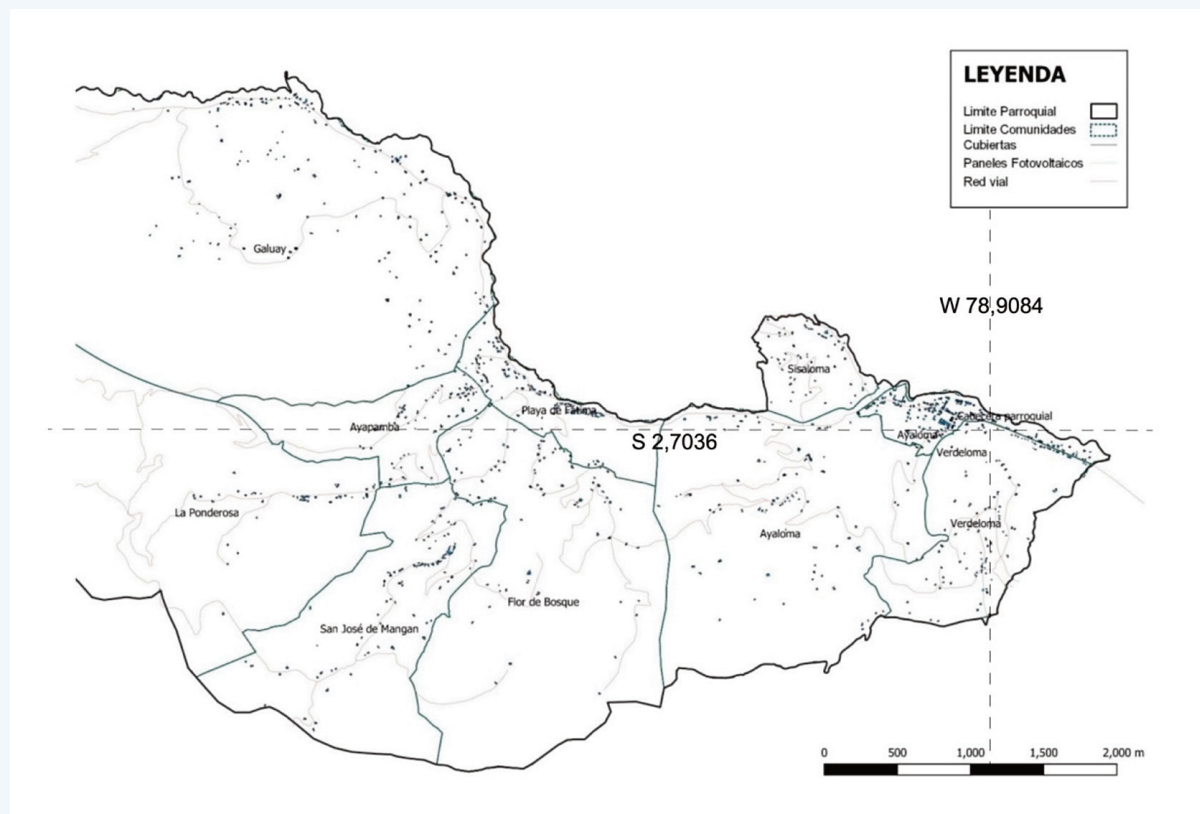


Imagen 3. Imagen de levantamiento vectorial de las techumbres de la parroquia Nazón para exploración de Potencial solar en cubiertas.



Imagen 4. Imagen del levantamiento con dron de la parroquia Sageo para exploración de Potencial solar en cubiertas.

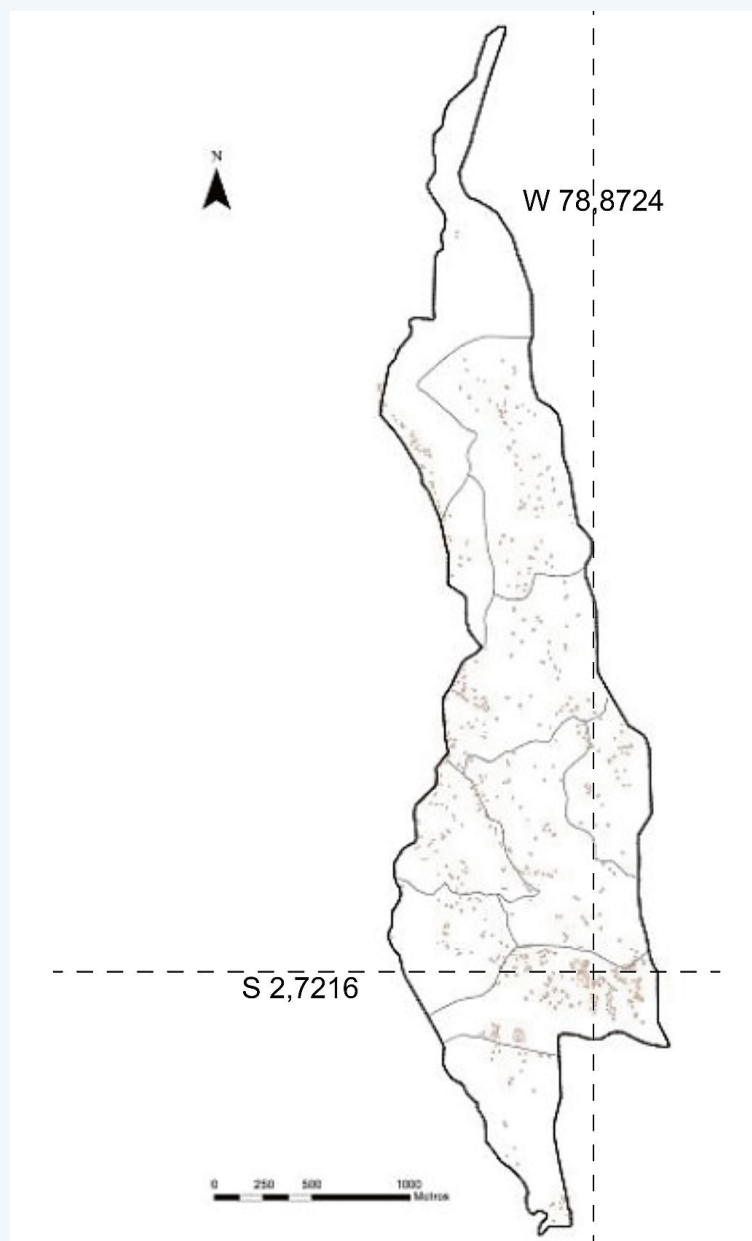


Imagen 5. Imagen de levantamiento vectorial de las techumbres de la parroquia Sageo para exploración de potencial solar en cubiertas.

4.3. Inclusión en el PDOT

COMPLEMENTARIAMENTE a las necesidades de establecer la ocupación de sistemas de generación conjuntamente con su área de influencia proyectada, para que estas zonas sean tratadas como zonas especiales con control y regulación desde las autoridades, es necesario realizar el mismo proceso con las zonas y afecciones provocadas por las redes de alta y media tensión. El espacio y las franjas de estas redes son sustanciales que se defina su espacio y área de influencia, son infraestructuras que implican

afectación espacial, visual y que por sus características pueden incluir riesgo en las franjas de ocupación. Si bien las redes de media tensión son habituales a lo largo de los corredores viales, en las zonas no urbanas cruzan por predios particulares. Las redes de alta tensión son comunes más bien en predios rurales, y estas infraestructuras muchas veces no están coordinadas ni definidas en los planes de ordenación. Por ende, es necesaria la coordinación oportuna entre las autoridades, las empresas energéticas y sus departamentos de coordinación.

5. Conclusiones

EN ESTE DOCUMENTO se ha presentado una descripción del diagnóstico y la metodología propuesta para la implementación y consideración del capítulo de energía en los planes de ordenamiento territorial de escala menor. Por localización, ampliación y registro de las plantas de generación eléctrica en el territorio. Inicialmente se describe la problemática energética del país, problemática que conlleva el necesario desarrollo urgente del sector energético con la consecuente necesidad de incrementar sobre todo el sector eléctrico, como la alternativa a un crecimiento social con menor impacto ambiental y mayor desarrollo económico. La electrificación de demandas tradicionalmente energizadas con combustibles es fundamental, electrificar el transporte, las industrias, demandas residenciales, etc., es esencial. Pero ello conlleva una creciente demanda de electricidad, conversión que se está desarrollando en todo el mundo no solo por conveniencia ambiental, sino por conveniencia económica. Por ello es necesario a corto y mediano plazo el multiplicar la potencia instalada de generación eléctrica. Si bien se considera que tecnologías de producción de electricidad desde tecnologías consideradas renovables y limpias son siempre aceptadas y que no generan mayor impacto en el territorio. No obstante, estudios recientes demuestran que, dependiendo de la tecnología, el impacto territorial resulta significativo.

En una etapa inicial del proyecto, se diagnostica la percepción de las autoridades respecto a la presencia de sistemas de generación que ya están en funcionamiento en el país, para ello se recurre a las autoridades de cantonales y parroquiales en donde se emplazan sistemas de generación en dos escalas, plantas de generación hidroeléctricas mayores para abastecer la red nacional (cantón Sevilla de Oro) y al cantón Saraguro en donde se aloja un sistema de generación de escala menor para abastecimiento y alcance regional, así como la parroquia Chiquintad, en donde se aloja plantas de generación hidroeléctricas menores también con capacidad inicial. En estas entrevistas se descifra que sistemas de generación menor, administrados y gestionados

localmente, suponen una mejor adaptación al medio, las autoridades en donde se emplazan generadoras de dimensiones menores, se mencionan impactos menores. Se mencionan impactos al territorio no significativos, más bien, existe contribución con la infraestructura a mejorar aspectos ambientales, además, se evidencia mayor apertura por parte de estas empresas menores para mejorar el entorno. Las autoridades de estas unidades políticas insinúan que podría tornarse positiva incluso la ampliación de generadoras menores.

Luego se establecen los potenciales energéticos de microgeneración, para ello se detectan cuatro recursos para microgeneración: residuos, minieólico, minihidroeléctrico y fotovoltaico. Hasta el momento se ha podido establecer que en cada edificación existe hasta veinticinco veces la demanda únicamente en sus techumbres, y que solamente con el potencial de techumbres existe con excedentes el potencial espacial y de captación para superar la demanda total eléctrica, sin considerarse aún las otras fuentes, que están actualmente en dimensionamiento. Se evidencia que, dadas las excelentes condiciones climáticas de los valles ecuatoriales andinos, el potencial de microgeneración es suficiente para la autosuficiencia eléctrica, y existe además un enorme potencial para promover la electrificación de demandas de transporte, residenciales o incluso industrias que pudieran emerger en el territorio.

Agradecimientos

SE AGRADECE AL VICERRECTORADO de Investigación de la Universidad de Cuenca por el apoyo y financiamiento del presente trabajo. Este trabajo es parte del proyecto de Investigación “Planificación energética territorial: Situación actual y metodología para integración de generación y redes eléctricas en el territorio y PDOT”.

6. Bibliografía

- Barragán-Escandon, A. (2018). El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador.
- Barragán-Escandón, A., Ruiz, J. M. O., Tigre, J. D. C., & Zalamea-León, E. F. (2020). Assessment of power generation using biogas from landfills in an equatorial tropical context. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12072669>
- Barragán-Escandón, A., Zalamea-León, E., & Terrados-Cepeda, J. (2019a). Incidence of photovoltaics in cities based on indicators of occupancy and urban sustainability. *Energies*, 12(5), 1–26. <https://doi.org/10.3390/en12050810>
- Barragán-Escandón, E. A., Zalamea-León, E. F., Terrados-Cepeda, J., & Vanegas-Peralta, P. F. (2020). Energy self-supply estimation in intermediate cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 129(April). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109913>
- Bie, Z., Lin, Y., Li, G., Jin, X., & Hua, B. (2013). Smart Grid in China: a promising solution to China's energy and environmental issues. *International Journal of Environmental Studies*, 70(5), 702–718. <https://doi.org/10.1080/00207233.2013.828442>
- Busch, H., & McCormick, K. (2014). Local power: Exploring the motivations of mayors and key success factors for local municipalities to go 100% renewable energy. *Energy, Sustainability and Society*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/2192-0567-4-5>
- Espinoza, J. L., Samaniego, E., Jara-Alvear, J., & Diego Ochoa, T. (2017). Smart grids: A multi-scale framework of analysis. 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference – Latin America, ISGT Latin America 2017, 2017-Janua, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2017.8126728>
- Fresco, P. (2023). Conflictos sociales por el desarrollo de energías renovables en el territorio. Causas.
- Fudge, S., & Peters, M. (2009). Motivating carbon reduction in the UK: the role of local government as an agent of social change. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 6(2), 103–120. <https://doi.org/10.1080/19438150902732101>
- Gao, D., Zhao, B., Kwan, T. H., Hao, Y., & Pei, G. (2022). The spatial and temporal mismatch phenomenon in solar space heating applications: status and solutions. *Applied Energy*, 321(January), 119326. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119326>
- Grewal, P. S., & Grewal, P. S. (2013). Can cities become self-reliant in energy? A technological scenario analysis for Cleveland, Ohio. *Cities*, 31, 404–411. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2012.05.015>
- Idrovo-Macancela, A., Velecela-Zhindón, M., Barragán-Escandón, A., Zalamea-León, E., & Mejía-Coronel, D. (2025). GIS-based assessment of photovoltaic solar potential on building rooftops in equatorial urban areas. *Heliyon*, 11(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41425>
- International Energy Agency. (2024). Renewables 2024. Analysis and Forecast to 2030. www.iea.org
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). World energy transitions outlook 2022. In *World Energy Transitions*.
- IRENA, & ILO. (2021). Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2021.
- Jara-Alvear, J., De Wilde, T., Asimbaya, D., Urquizo, M., Ibarra, D., Graw, V., & Guzmán, P. (2023). Geothermal resource exploration in South America using an innovative GIS-based approach: A case study in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 122(December 2022). <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104156>
- Kylili, A., & Fokaides, P. A. (2015). European smart cities: The role of zero energy buildings. *Sustainable Cities and Society*, 15, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.12.003>
- Ley Orgánica De Ordenamiento Territorial, Uso Y Gestión De Suelo, Registro Oficial 1 (2016).
- Lukač, N., & Žalik, B. (2013). GPU-based roofs' solar potential estimation using LiDAR data. *Computers and Geosciences*, 52, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.10.010>
- Lund, P. (2012). Large-scale urban renewable electricity schemes – Integration and interfacing aspects. *Energy Conversion and Management*, 63, 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.037>

- MAE. (2019). Guía Explicativa para la incorporación de Cambio Climático en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. 1–56.
- MAE Ecuador. (2012). Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador.
- Marco Normativo de La Generación Distribuida Para El Autoabastecimiento de Consumidores Regulados de Energía Eléctrica, 1 (2024). <https://nmslaw.com.ec/wp-content/uploads/2024/10/2-Regulacion-Nro.-005-24-signed.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2023). Subsidios Proforma Presupuestaria 2023.
- Morocho, E., Morocho, W., Barragán, A., & Zalamea, E. (2020). Optimal location decision of wind generators in urban areas using multi criteria techniques. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 18(18), 109–115. <https://doi.org/10.24084/repqj18.242>
- Pelaez Samaniego, M., & Espinoza Abad, J. (2015). *Energías Renovables en Ecuador* (Universidad de Cuenca, Ed.; 1st ed., Issue February).
- Perrin, J. A., & Bouisset, C. (2022). Emerging local public action in renewable energy production. Discussion of the territorial dimension of the energy transition based on the cases of four intermunicipal cooperation entities in France. *Energy Policy*, 168(July), 113143. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113143>
- Plan Nacional de Desarrollo 2021-2025, 1 Lexis 1 (2021).
- Ponce, J. M. A. (2019). La energía solar fotovoltaica distribuida y las Smart Grid como modelo para diversificar la Matriz Energética de Ecuador.
- Ponce-Jara, M. A., Castro, M., Pelaez-Samaniego, M. R., Espinoza-Abad, J. L., & Ruiz, E. (2018). Electricity sector in Ecuador : An overview of the 2007 – 2017 decade. *Energy Policy*, 113(November 2017), 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>
- Radio Vision. (2024, April). Elecaastro fortalece el mantenimiento vial y la conservación ambiental en la zona de influencia del complejo hidroeléctrico machángara. <https://www.radiovisioncuenca.com/elecaastro-fortalece-el-mantenimiento-vial-y-la-conservacion-ambiental-en-la-zona-de-influencia-del-complejo-hidroelectrico-machangara/>
- REN21. (2017). Renewables 2017: global status report. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 72, Issue October 2016). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.082>
- Salinas, F. (2025). 24.000 megavatios por instalar en hidroenergía en Ecuador: un potencial por aprovechar. *Ecuador Informa*. <https://informaec.com/24-000-megavatios-por-instalar-en-hidroenergia-en-ecuador-un-potencial-por-aprovechar/>
- Srećković, N., Lukač, N., Žalik, B., & Štumberger, G. (2016). Determining roof surfaces suitable for the installation of PV (photovoltaic) systems, based on LiDAR (Light Detection And Ranging) data, pyranometer measurements, and distribution network configuration. *Energy*, 96, 404–414. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.078>
- van Leeuwen, R. P., de Wit, J. B., & Smit, G. J. M. (2017). Review of urban energy transition in the Netherlands and the role of smart energy management. *Energy Conversion and Management*, 150, 941–948. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.081>
- World Economic Forum. (2021). This is how much of the Earth's surface humans have modified. <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/human-impact-earth-planet-change-development/>
- Zalamea-León, E., Morocho-Pulla, B., Astudillo-Flores, M., Barragán-Escandón, A., & Ordoñez-Castro, A. (2024). Implicancias de superposición fotovoltaica en entorno urbano ecuatorial andino con LIDAR. *INVI*, 39, 203–235. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2024.69055>

