



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL
CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL
ECUADOR ENTRE 2010 Y 2050 A UNA RESOLUCIÓN DE 1 KM² POR
HORA USANDO SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMACIÓN”**

Autor: Rodrigo Alexander Borja Cáceres

Tutor: Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

AMBATO - ECUADOR

Enero - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL ECUADOR ENTRE 2010 Y 2050 A UNA RESOLUCIÓN DE 1 KM2 POR HORA USANDO SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMACIÓN”**, elaborado por el Sr. Rodrigo Alexander Borja Cáceres portador de la cédula de ciudadanía: Cl. 172547564-2, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2022

Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Rodrigo Alexander Borja Cáceres** Cl. 172547564-2 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL ECUADOR ENTRE 2010 Y 2050 A UNA RESOLUCIÓN DE 1 KM2 POR HORA USANDO SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMACIÓN”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2022



Rodrigo Alexander Borja Cáceres

C.I.: 172547564-2

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2022



Rodrigo Alexander Borja Cáceres

C.I.: 172547564-2

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Rodrigo Alexander Borja Cáceres, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL ECUADOR ENTRE 2010 Y 2050 A UNA RESOLUCIÓN DE 1 KM² POR HORA USANDO SISTEMAS GEOGRÁFICOS DE INFORMACIÓN”**.

Ambato, enero 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano
Miembro Calificador

Ing. Mg. César Hernán Arroba Arroba
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mis padres Italia Cáceres y Carlos Borja por el sacrificio que han realizado por complementar mi educación superior.

A mis Hermanas Dina y Alejandra quienes han representado un gran apoyo brindándome ayuda como también su consejo.

A mi pareja Lisbeth V. y amigos por su constante apoyo y motivación a lo largo de la de la carrera.

A la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato por otorgarme la oportunidad de formar mi conocimiento y permitiéndome ser un profesional.

A los docentes de la Facultad de la Ingeniería Civil y Mecánica de la Carrera de Ingeniería Mecánica quienes entregaron sus conocimientos y experiencias de vida profesional.

Rodrigo Borja

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo realizado está dedicado a mis padres por haberme extendido su mano para estar en este punto de la vida y lograr uno de mis objetivos, darle gracias por su inmenso amor por estar conmigo y haberme dado la oportunidad de estar con Vida y acompañarme en cada paso que he transcurrido fortaleciéndome y forjándome como persona, aquellas personas que han sido un gran soporte en mi vida docentes, amigos y pareja por convencerme de que lo que yo me proponga lo podré lograr, gracias por sus consejos en aquellos momentos de dificultad en esos momentos que me alentaban a sobresalir y seguir adelante. Muchísimas gracias a mi Madre Italia Cáceres y a mi padre Carlos Borja.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1	1
Marco teorico	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis.....	4
1.3.1. Variables Independientes	4
1.3.2. Variable Dependiente.....	4
1.4. Marco referencial.....	5
1.5. Fundamentación teórica	7
1.5.1. Sistema de información geográfica.....	7

1.5.2.	R y R-Studio.....	7
a.	Paquete RNetCDF	7
b.	Paquete Raster.....	8
c.	Paquete rgdal	8
1.5.3.	Consumo de energía.....	8
1.5.3.1.	Potencial energético ecuatoriano.....	8
1.5.4.	Distribución espacial y temporal.....	10
a.	Distribución Temporal	10
1.5.5.	Datos	10
1.5.6.	Modelos de representación.....	11
1.5.7.	Recolección de datos.....	14
CAPÍTULO 2		21
METODOLOGÍA		21
2.1.	Materiales y equipos.....	22
2.2.	Métodos	23
2.2.1.	Diseño del modelo experimental	23
2.2.2.	Tipo de investigación.....	24
2.2.3.	Enfoque de la investigación	25
2.2.4.	Operacionalización de variables	25
2.2.5.	Técnica de recolección de datos.....	26
2.2.6.	Técnica de procesamiento de datos.....	27
2.2.7.	Plan de procesamiento y análisis	27
2.3.	Plan de recolección de información	31
2.3.4.	Modelo del cálculo de la demanda energético en el sector residencial	32
CAPÍTULO 3		37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
3.1.	Proceso de recolección, calibración y cálculos de los datos	37

3.1.1.	Recolección y calibración datos climatológicos	37
3.1.2.	Recolección y Validación de Datos poblacionales	44
3.1.3.	Proceso de recolección de datos del consumo eléctrico residencial ...	48
3.2.	Resultados del proceso de cálculo de la demanda energética en el Ecuador.....	53
3.2.1.	Resultado de consumo energético para los años 2010 al 2020	53
3.2.2.	Muestra de resultados para la ventilación de hogares	53
3.2.3.	Muestra de resultados para calentamiento de hogares y calentamiento de agua	54
3.2.4.	Representación del uso final de energía anual	55
3.2.5.	Perfiles de 24 horas de demanda energética	57
3.3.	Resultados de proyecciones para las décadas desde el 2030 al 2050.....	59
3.3.1.	Resultado de estimación de demanda energética para las décadas del 2030 al 2050.....	59
3.3.2.	Muestra de resultados para la ventilación de hogares en Guayaquil ...	62
3.3.3.	Muestra de resultados para la ventilación de hogares en Quito	63
3.3.4.	Representacion de las proyecciones del uso final de energia anual.....	63
3.3.5.	Perfiles de demanda de las horas 0, 6, 12 y 18 del 2030-2050	64
3.4.	Validación de hipótesis	77
CAPÍTULO 4		80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		80
4.1.	Conclusiones.	80
4.2.	Recomendaciones.....	81
Bibliografía		82
Anexos		86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Términos y definiciones.....	5
Tabla 2. Uso final de la energía [25].....	18
Tabla 3. Equipos utilizados.....	22
Tabla 4. Librerías usadas.....	22
Tabla 5. Operacionalización de variables independientes.	25
Tabla 6. Operacionalización de variable dependiente.....	26
Tabla 7. Plan de recolección de datos.	31
Tabla 8. Tabla de porcentajes de consumo final de energía anual.....	35
Tabla 9. Validación de Datos de población.	47
Tabla 10. Consumo energético GWh/al año.	51
Tabla 11. Porcentaje de consumo energético residencial al mes	52
Tabla 12: Porcentaje de demanda por hora de cada mes para el 2020.....	61
Tabla 13. Tabla de valores provinciales para validación para 2020	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Energía consumida por sectores [3].....	1
Figura 2. Energía del sector residencial [15]	8
Figura 3. Energía producida por sectores [3].....	9
Figura 4: Producción de energía [3].....	9
Figura 5. Representación polígono modelo vectorial [9].....	11
Figura 6. Tipos de datos modelo vectorial [9]	12
Figura 7. Modelo Raster visual [9]	12
Figura 8. Modelo Raster Numérico [9].....	12
Figura 9: Datos modelo raster por capas [9]	13
Figura 10. Demanda de energía en ambiente cálido [7].....	16
Figura 11. Distribución poblacional [23].....	18
Figura 12. Distribución del consumo de energía residencial [26].	19
Figura 13. Consumo eléctrico por tipo de vivienda [27].	20
Figura 14. Diagrama de descripción general del proceso.	24
Figura 15. Diagrama de plan de recolección y calibración de datos.....	31
Figura 16. Selección de formato de descarga.....	38
Figura 17. Selección de rango de fechas.....	38
Figura 18. Selección de extensión de estudio.	39
Figura 19. Selección de parámetros climatológicos.....	39
Figura 20. Resolución original de datos climatológicos.	40
Figura 21. Temperatura en kelvin hora 1 del primer día en enero del 2010.....	40
Figura 22. Temperatura en centígrados de la hora 1 del primer día del mes de enero del 2010.....	41
Figura 23. Temperatura en centígrados hora 0 del mes de enero del 2050.....	42
Figura 24. Temperatura en kelvin de la hora 0 del mes de enero del 2030.	43
Figura 25. Temperatura en kelvin de la hora 0 del mes de enero del 2030.	43
Figura 26: Documentos de proyecciones poblacionales mostradas por el INEC.	44
Figura 27. Comparativa Imagen formato csv vs Raster.....	44
Figura 28. Población del Ecuador para el año 2010.....	45
Figura 29. Sumatoria total de la población del raster para el año 2010.....	46
Figura 30. Sumatoria total de la población del Canto Quito para el año 2010.	46

Figura 31. Sumatoria total de la población de Guayaquil para el año 2010.	47
Figura 32. Rasters poblacionales por década del 2010 al 2100 [23]......	48
Figura 33: Visualización página de descarga del sistema de datos nacional	49
Figura 34. Transformacio csv a raster a nivel parroquial.....	49
Figura 35. Resultado de transformación de datos de nivel cantonal de csv a raster. .	50
Figura 36. Resultado de transformación de datos a nivel provincial de csv a raster. .	50
Figura 37. Total de la demanda de energía anual para el sector residencial del Ecuador en 2010, 2015 y 2020.	53
Figura 38. Comparación trimestral de la demanda de energía para ventilación de espacios en 2010 (a), 2015 (b) y 2020 (c) para la ciudad de Guayaquil en determinadas horas del día.	54
Figura 39. Comparación trimestral de la demanda de energía para calefacción (CH + CA) en 2010 (a), 2015 (b) y 2020 (c) en Quito para determinadas horas del día.	55
Figura 40. Demanda total de energía para usos finales en el sector residencial de Ecuador en 2010, 2015 y 2020.....	56
Figura 41. Niveles PIBpc para el Ecuador 2020.	56
Figura 42. Perfiles de 24 horas demanda energiapara el 2010 separado trimestralmente y por su uso final.	58
Figura 43. Perfiles de 24 horas demanda energiapara el 2020 separado trimestralmente y por su uso final.	59
Figura 44. Total de la demanda de energia anual para el sector	60
Figura 45. Comparación de la distribución de la población entre 2020, 2030, 2040 y 2050	60
Figura 46. Comparación anual de la demanda de energía para refrigeración de espacios en 2030, 2040 y 2050 para la ciudad de Guayaquil en las horas 0, 6, 12 y 18.	62
Figura 47. Comparación trimestral de la demanda de energía para calefacción de espacios en 2030, 2040 y 2050 para la ciudad de Quito en las horas del 0, 6, 12 y 18.	63
Figura 48. Demanda total de energía para usos finales en el sector residencial de Ecuador en 2030, 2040 y 2050.....	63
Figura 49. Perfiles de demanda energética del primer trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	65

Figura 50. Perfiles de demanda energética del segundo trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	66
Figura 51. Perfiles de demanda energética del tercer trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	67
Figura 52. Perfiles de demanda energética del cuarto trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	68
Figura 53. Perfiles de demanda energética del primer trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	69
Figura 54. Perfiles de demanda energética del segundo trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	70
Figura 55. Perfiles de demanda energética del tercer trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	71
Figura 56. Perfiles de demanda energética del cuarto trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	72
Figura 57. Perfiles de demanda energética del primer trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	73
Figura 58. Perfiles de demanda energética del segundo trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	74
Figura 59. Perfiles de demanda energética del tercer trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	75
Figura 60. Perfiles de demanda energética del cuarto trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.....	76
Figura 61. Tablas de valores criticos de coheficiente de correlacion de Pearson [39].	79
Figura 62. Perfiles de 24 horas de calentamiento de hogares para Quito	86
Figura 63. Perfiles de 24 horas de calentamiento de hogares para Quito 2020.	87
Figura 64. Perfiles de 24 horas de ventilacion de hogares para Guayaquil 2010	88
Figura 65. Perfiles de 24 horas de ventilacion de hogares para Guayaquil 2020.	89
Figura 66. Programación de calculos para los años 2010-2020.....	90
Figura 67. Programación de calculos para los años 2030-2050.....	91

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Perfiles de demanda para Quito.....	86
Anexo 2: Perfiles de demanda de ventilación de hogares de 24 horas para Guayaquil	88
Anexo 3: Programación en R-Studio	90

RESUMEN

La presente investigación basado en sistemas geográficos de información SIG pretende ser una fuente de base de datos que relaciona las condiciones climáticas, la densidad poblacional con la demanda energética con el fin de ser utilizada para optimización en el consumo de las energías a nivel nacional, además de estimar la demanda energética de los usos finales para las décadas por venir.

Mediante la estimación temporal que se realizó por cada hora de cada mes y espacial por cada kilómetro cuadrado se realizaron los cálculos que permitieron identificar la demanda energética para la calefacción y ventilación de hogares, calentamiento de agua e iluminación y aparatos eléctricos. Se realizó una sumatoria de cada ráster generado para determinar una demanda Nacional, además con la que se pudo determinar perfiles de demanda por hora especialmente para las dos metrópolis ecuatorianas. Para las proyecciones energéticas se utilizó la combinación de las poblaciones y consumo estimado bajo parámetros SSP2 mientras que para climáticos se utilizó el escenario RCP 8.5 los cuales son considerados los escenarios más realistas que se pudieron encontrar.

El conjunto de datos resultantes de los años 2010,2015, 2020, 2030, 2040 y 2050 está diseñado para utilizarse en: un nuevo modelo de evaluación integrado llamado MUSE y en cualquier análisis de tecnologías de usos finales de energía en el sector residencial.

Palabras claves: SIG, Consumo energético, Demanda energética, Ráster, SSP2, RCP 8.5.

ABSTRACT

This research based on geographic information systems GIS aims to be a database source that relates climatic conditions, population density with energy demand in order to be used to optimize energy consumption at the national level, in addition of estimating energy demand for end-uses for decades to come.

Through the temporal estimation that was carried out for each hour of each month and spatially for each square kilometer, the calculations were carried out that allowed identifying the energy demand for heating and ventilation of homes, water heating and lighting and electrical appliances. A summation of each generated raster was made to determine a National demand, in addition to which it was possible to determine hourly demand profiles, especially for the two Ecuadorian metropolises. For energy projections, the combination of populations and estimated consumption under SSP2 parameters was used, while for climate projections the RCP 8.5 scenario was used.

The resulting data set for the years 2010, 2015, 2020, 2030, 2040 and 2050 is designed for use in: a new integrated assessment model called MUSE and in any analysis of energy end-use technologies in the residential sector.

Keywords: GIS, Energy consumed, Energy demand, Raster, SSP2, RCP 8.5.

CAPÍTULO 1

MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes investigativos

La necesidad de garantizar el suministro energético para una demanda creciente a nivel global, pero también en numerosos países como es el caso de Ecuador y evitar el negativo impacto ambiental de la generación y uso de la energía, lo cual obliga a incrementar en el mayor grado posible la participación de las energías sostenibles y renovables en el esquema energético de cualquier comunidad [1].

Los científicos a nivel mundial están trabajando para comprender el impacto potencial del consumo de energía del sector residencial (SR) en el cambio climático y viceversa. Los edificios residenciales comprenden entre el 20% y el 40% del consumo total de energía de un país o región, dependiendo del desarrollo económico, las características culturales y geográficas. La calefacción y la refrigeración pueden representar hasta el 80% de la energía total consumida en los edificios para calentamiento de espacios y agua, y para enfriamiento de espacios, respectivamente [2].



Figura 1. Energía consumida por sectores [3]

Han surgido modelos de sistemas de energía (MUSE) para ayudar a la comunidad investigadora a construir escenarios lógicos y simular la complejidad de los sectores energéticos de la economía global. Esta investigación se enfocará en el estudio del consumo energético y la importancia que implica los factores poblacionales y climatológicos en ellos, basándose en dimensiones espacio temporal generando Sistemas de Información Geográfica (SIG), la cual se presenta como una herramienta

prometedora para la transición energética en el sector residencial del Ecuador. Sin embargo, el uso de SIG para desarrollar vías para la descarbonización del sector SR a escala nacional aún no se ha evaluado en la literatura científica ecuatoriana [4] [5].

En 2018, el consumo total de energía en los 23 países de América Latina alcanzó un total de 638.039 ktep. Los países con mayor consumo de energía fueron Brasil, Argentina, Venezuela, Perú, Chile, Trinidad y Tobago, Colombia y Ecuador, con 543.9 ktep, lo que representa el 85.39% del consumo total de energía de América Latina. En particular, la energía de uso final en el SR alcanzó 82.465 ktep, lo que representa el 17.12% del consumo total de energía en la región. Este consumo está asociado a la emisión de gases de efecto invernadero que alcanzaron 65 MtCO₂, lo que representa el 5.91% del total de emisiones en América Latina [6].

Con esta evidencia en mente, el sector residencial representa una oportunidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire. Es fundamental implementar políticas energéticas que permitan el uso eficiente de la energía, la reducción del uso de combustibles fósiles y el aumento de tecnologías limpias basadas en recursos renovables para satisfacer la demanda de energía del sector residencial de América Latina.

Para el desarrollo del estudio de demanda energética se ha tomado en consideración cuatro investigaciones, las cuales ofrecen información necesaria y adecuada para el impulso y desarrollo de esta.

El estudio [7] demuestra en su documento la formulación y aplicación la metodología espacialmente y de estimación resuelta sobre el calentamiento de espacios, enfriamiento de espacio y la demanda del agua caliente, combinando criterios climatológicos, equilibrio energético espacialmente resueltos, con los factores de densidad de población, resolución espacial y temporal de los datos de temperaturas para calcular las demandas a 1km^2 , formulando un grupos de bandas de energía para cada país y enfocándose en el uso de energía para calefacción refrigeración y calentamiento de agua así como una demanda anual típica de agua caliente por habitante de 833 kWh.

En el artículo científico presentado por los autores investigaron GIS integrado a modelos importantes para sistemas energéticos urbanos, viendo la creciente afinidad

de modelar Sistema de energía urbana (UES) en SIG, la investigación demostró una brecha en la literatura del modelado de la flexibilidad basada en SIG en la adecuación de modelos urbanos. Por lo tanto, ese campo de análisis fue identificado y presentado en este artículo. El principal aporte de este artículo es la unión del sistema SIG y de los datos de modelado de código abierto para replicar UES, lo que ayuda a entender y exhibir la relación estructural entre información espacial relevante (edificio, distrito, infraestructura eléctrica). Además de los pasos involucrados en la extracción de datos de características urbanas propuestos por Organización Mundial del salud OMS y las energías renovables [5].

En el artículo [8] dan a conocer un nuevo enfoque en la revisión de consumo de energía eléctrica y térmica en la ciudad, combinando herramientas SIG con un modelo estadístico de criterios urbanos. Para obtener disminución de la demanda de estas energías con la instalación de fuentes de energías renovables, ayudando a generar estrategias de diseño y renovación urbana.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Calcular la distribución espacial y temporal del consumo de energía en el sector residencial del Ecuador entre 2010 y 2050 a una resolución de 1 km² y por hora usando Sistemas Geográficos de Información

1.2.2. Objetivos específicos

- Recolectar y calibrar datos espaciales y temporales del clima ecuatoriano de diferentes fuentes entre 2010 y 2020.

(Investigar fuentes climatológicas nacionales e internacionales que brinde alta resolución de información entre el 2010-2020, calibrar la información a una resolución espacial de 1km² y temporal de 1 hora)

- Validar datos de la distribución espacial de la población ecuatoriana de diferentes fuentes entre 2010 y 2020.

(Obtener datos de fuentes fidedignas calibrarlos con el fin de que permitan la validación de los datos calibrados sobre la distribución espacial entre 2010-2020)

- Recolectar datos de la demanda de energía en el sector residencial en el Ecuador entre 2010 y 2020.

(Investigar fuentes de datos de energía nacionales e internacionales que brinde buena resolución de información entre el 2010-2020)

- Estimar demanda real de energía en el sector residencial en el Ecuador actual y el largo plazo entre 2010 y 2050.

(Aplicar proceso de calibración y aplicación de fórmulas de calentamiento de agua, calentamiento de hogares, enfriamiento de hogares e iluminación y aparatos electricos. La estimación se realizará en base a escenarios ya establecidos en estudios de sostenibilidad energética como son los SSP - Shared Socioeconomic Pathways).

1.3. Hipótesis

La recopilación, calibración y distribución espacial de datos de consumo energético permitirá el cálculo de demanda de energía eléctrica en el sector residencial del Ecuador, usando Sistemas de Información Geográficos, así como el de Entorno de Simulación de Sistemas Energéticos Modulares.

1.3.1. Variables Independientes

Recopilación, calibración y distribución espacial de datos de consumo energético, población y climatológicos.

1.3.2. Variable Dependiente

Cálculo de demanda y suministro de energía eléctrica en el sector residencial del Ecuador usando Sistemas de Información Geográficos y Entorno de Simulación de Sistemas Energéticos Modulares.

1.4. Marco referencial.

Tabla 1. Términos y definiciones

Términos	Significado
UES	Sistema de energía urbana
DES	Sistemas de energía del distrito
SR	Sector residencial
MUSE	Sistemas de energía Simulación Entorno Modular
IAM	Modelo de evaluación integrada
GIS	Sistema de información geográfica
HDH	Horas de grado de calentamiento
CDH	Horas de grado de enfriamiento
CH	Calentamiento de hogares
VH	Ventilación de hogares
CA	Calentamiento de agua
IAE	Iluminación y aparatos eléctricos
c	Célula
d	Día
h	Hora
$T_{c,d,h}$	Temperatura en una celda durante un día y hora específicos
T_{ref}	Temperatura de referencia
kc	Factor de escala
POP_{denc}	Densidad de población por celda
I_{CH}	Índice para calefacción de hogares
I_{VH}	Índice para enfriamiento de hogares
I_{CA}	Índice de calentamiento de agua
E	Energía consumida
ED	Densidad de energía
E_{CH}	Demanda energética para calefacción de hogares
E_{CA}	Demanda energética para calentar agua
E_{VH}	Demanda energética para ventilación de hogares
E_{IAE}	Demanda energética para Iluminación y aparatos eléctricos

GWh/y	Gigavatios hora al año
<i>Km</i> ²	Kilómetro cuadrado
TWh/y	Tera vatios hora al año
GNU	Sistema operativo tipo Unix
PIBpc	Producto interno Bruto per cápita

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. Sistema de información geográfica

El SIG es un medio que consta de varios componentes que se usan para recopilar, administrar, visualizar, analizar información espacial geográfica. En [9] se menciona que “Un SIG es un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos”

Los datos de importancia del SIG dentro del área de consumo energético vendrán guiados por factores climáticos, densidad poblacional. Los conjuntos de datos a encontrarse se les puede asignar una ubicación espacial, ya sea en la superficie de la tierra o dentro de algún sistema de coordenadas arbitrario. [10]

Dentro de las principales operaciones que se pueden realizar por medio de SIG se tiene:

- a) La gestión de datos espaciales
- b) Generación de modelos complejos o simples para el análisis de datos
- c) Elaboración de informes, gráficos, mapas, etc. [9].

1.5.2. R y R-Studio

R es un medio de programación cuyas características permiten el procesamiento y análisis de datos en base a criterios científicos mediante un entorno interactivo, basándose en comportamiento de lenguaje simple de programación S de GNU, el cual al no ser tan complejo como C++ hace que interfaz sea más entendible, además de ser un programa gratuito con 6817 paquetes, es avalado por la comunidad científica. Uno de los principales usos de R es por una gramática profunda que permite realizar gráficos estadísticos, es muy poderosa en el desarrollo e interpretación de datos pre específicos. R-estudio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) al programa R una interacción más entendible con el usuario [11].

a. Paquete RNetCDF

Este paquete es diseñado por Unidata para el trabajo y almacenamiento de datos científicos, el paquete también proporciona un interfaz de trabajo para los archivos de

formato NetCDF, permite la lectura, trabajo y modificación de los archivos nuevos [12].

b. Paquete Raster

Este paquete consta de comandos para la lectura, escritura, creación y manipulación de los datos geospaciales, existen funciones que permiten la lectura de valores ráster y para convertir las coordenadas en datos numéricos y viceversa. Una de las virtudes de este paquete es que los datos obtenidos se pueden trabajar directamente en el disco ya que el ráster suele ser extenso para mantenerlo en la memoria RAM [13].

c. Paquete rgdal

Este paquete permite la escritura y la lectura de datos geospaciales. Contiene una gran variedad de comandos útiles para el procesamiento y traducción de datos geospaciales [14].

1.5.3. Consumo de energía

La energía es lo que permite el movimiento y la activación de objetos. Existen diferentes fuentes de energía a nivel mundial, se puede tener un consumo aproximado de energía como se muestra en la siguiente Figura 2.

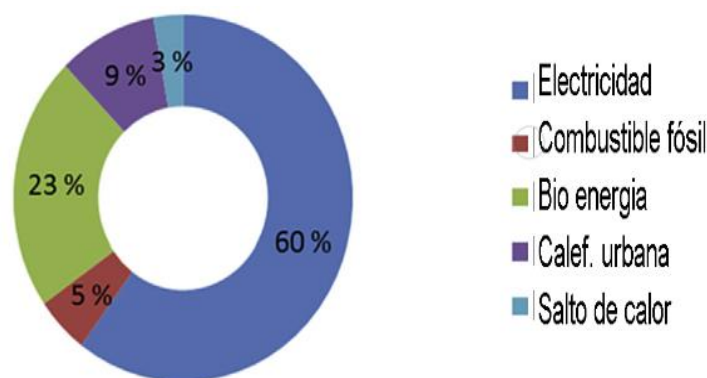


Figura 2. Energía del sector residencial [15]

1.5.3.1. Potencial energético ecuatoriano

La generación de la energía eléctrica en el territorio ecuatoriano se produce por fuentes renovables y no renovables como se puede apreciar en la Figura 3. Las fuentes

renovables en el Ecuador se conforman por centrales: fotovoltaicas, hidroeléctricas, eólicas y termoeléctricas que consume biogás y biomasa, mientras que la generación no renovable se utiliza combustible fósil este tipo de centrales se clasifican en: motores de combustión interna, turbo vapor y turbo gas como se visualiza en la Figura 4.

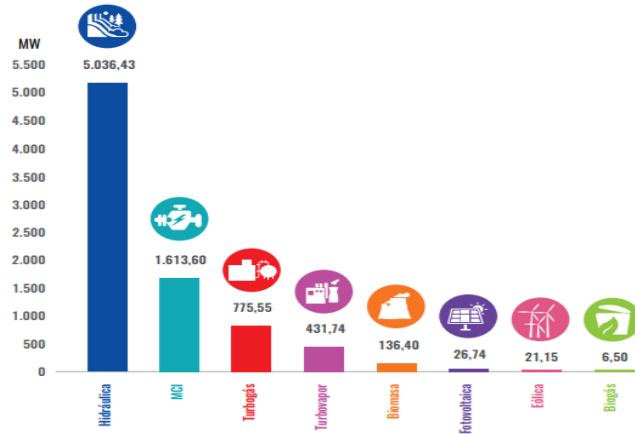


Figura 3. Energía producida por sectores [3]

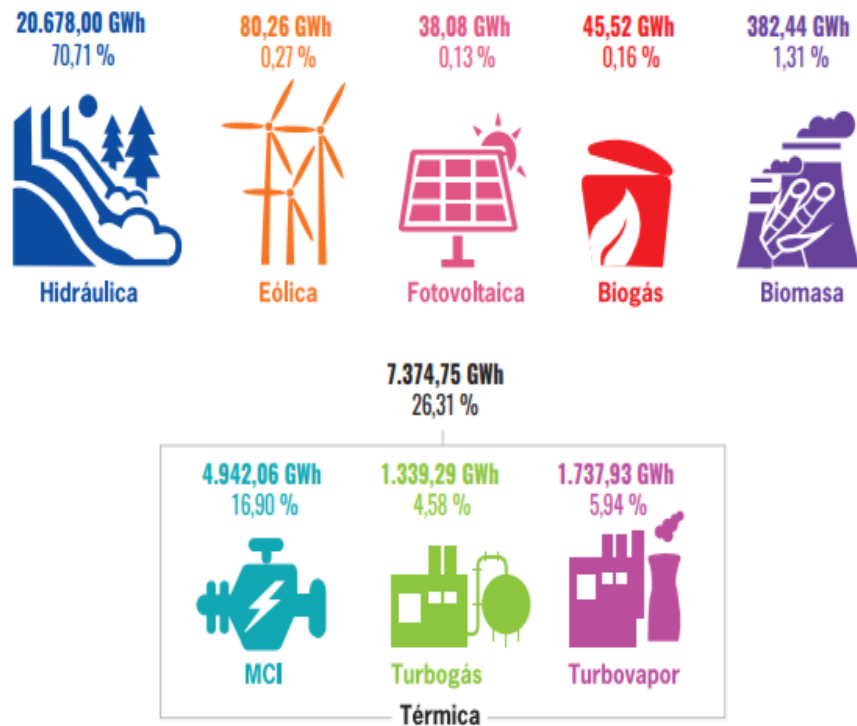


Figura 4: Producción de energía [3]

1.5.4. Distribución espacial y temporal

La distribución espacial se refiere a la repartición de los valores de una variable en una determinada zona de la superficie terrestre. Para la distribución espacial es muy importante contar con datos de la población absoluta y la densidad de la población.

a. Distribución Temporal

La distribución temporal es la cantidad de cambios que tiene una variable en un mismo lugar con respecto al tiempo de estudio de una variable en una área determinada y constante.

1.5.5. Datos

Los datos son entes de entrada y de salida dentro del proceso de modelado. Los datos en el campo de la energía tienen una amplia calidad de variables que dependerá de su procedencia, organismos gubernamentales y no gubernamentales, fuentes académicas, fuentes particulares y comerciales. Los datos que no están procesados de varias fuentes y de diferentes formatos se deben procesar para crear un modelo accesible, que permita el uso de series de tiempo, datos geográficos y datos tabulares [16].

1.5.5.1. Datos espaciotemporales

Este tipo de datos se constituyen con la combinación de componentes espaciales y temporales. Se debe tener en cuenta la dependencia espacial para el análisis de las zonas monitoreadas, además de que cada análisis está relacionado espacio-tiempo. Un claro ejemplo de este tipo de datos son las redes de estaciones meteorológicas o de contaminante atmosférico [17].

En los últimos años el estudio e investigación de los datos espacio-tiempo se ha incrementado, permitiendo así desarrollar herramientas y capacidades para el análisis de diversas variables. Basándose en la dimensión temporal se reconoce a los datos espaciales como la visión del mundo real a través de modelos dinámicos que dependerá de las variables espaciales y temporales, el tiempo es una dimensión fundamental para entender y modelar la evolución de los fenómenos geográficos [17].

1.5.5.2. Modelos para la información geoespacial

El primer punto en la creación de dato geográfico está dado por la creación de un modelo en el cual se pueda interpretar la información geográfica. Permite conseguir la conceptualización del espacio estudiado, la variable tratada y la variación de esta a lo largo del tiempo [9].

1.5.6. Modelos de representación

Los modelos de información geográfica permiten una visualización de un espacio geográfico y los respectivos atributos. Dentro de los modelos de representación podemos encontrar modelos ráster y modelos vectoriales [9].

1.5.6.1. Modelo vectorial

Este modelo recoge las características y su variabilidad por medio de entidades geométricas, aunque no presenta unidades fundamentales como se muestra en la Figura 5. Por medio del uso de polígonos líneas y puntos como se interpreta en la Figura 6, puede realizarse un modelo de espacio geográfico permitiendo recoger la posición, propiedades, formas (información primitiva) y la temática que se encuentra por medio de los valores asociados [9].

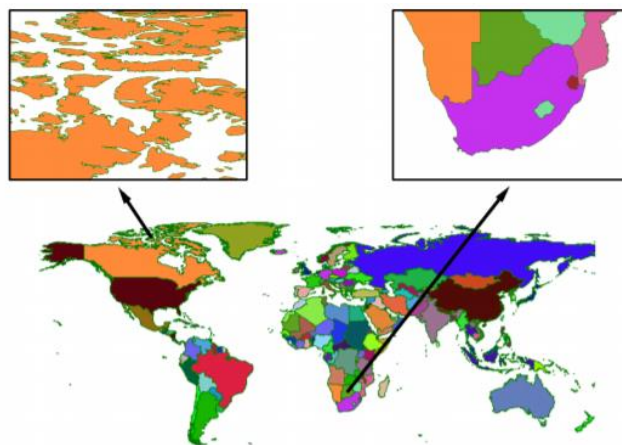


Figura 5. Representación poligona modelo vectorial [9]

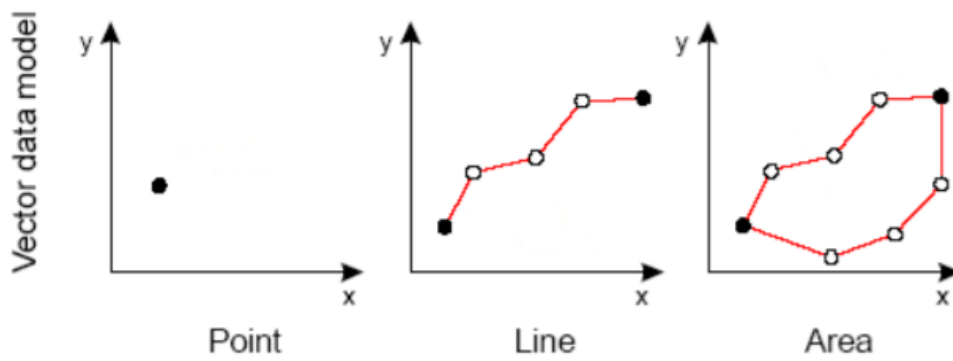


Figura 6. Tipos de datos modelo vectorial [9]

1.5.6.2. Modelo ráster

Este modelo representa la zona de estudio en series mínimas de unidades conocidas como celdas mediante la recolección de la información adecuada, la cual describe pertinentemente la información de una variable como se puede visualizar en la Figura 7. Además, muestra una malla de posición aumentada en la Figura 7 [9].

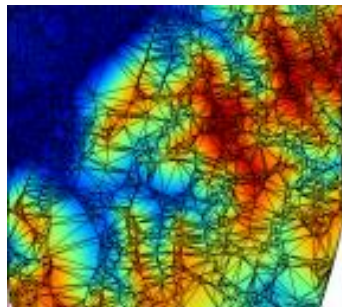


Figura 7. Modelo Raster visual [9]

132.90	133.90	135.60	139.20	140.60	144.40
126.80	128.50	131.40	133.90	135.90	139.90
122.30	124.10	125.80	128.50	131.80	135.60
118.70	119.90	121.90	124.30	128.20	131.50

Figura 8. Modelo Raster Numérico [9]

La sistematicidad (división de espacio en unidades mínimas) es la principal característica del modelo ráster por brindar propiedades interesantes en el análisis. Ya que mediante patrones existe una relación implícita por contigüidad de las celdas, lo cual les permite cubrir todo el espacio y no solaparse entre ella, esto por cada variable.

En el caso de existir más de una variable dentro del ráster se utiliza un nivel multicapas y cada capa tendrá toda la información de una sola variable como se puede visualizar en la Figura 9 [9], [18].

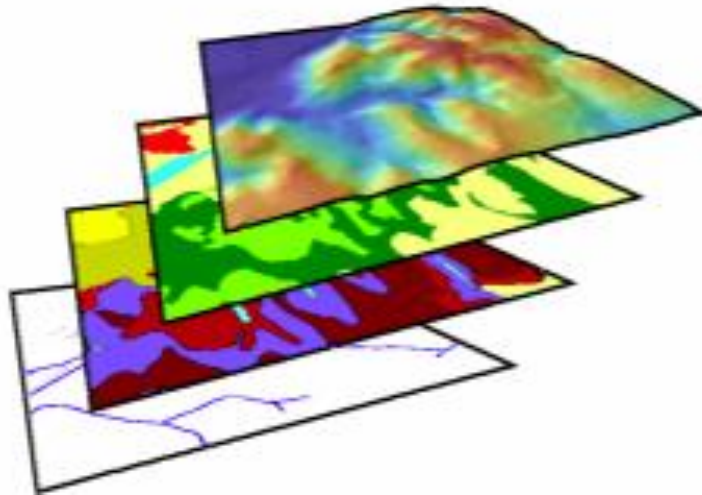


Figura 9: Datos modelo raster por capas [9]

a. Imagen digital

Al resultado de convertir datos analógicos en digitales se le considera con una imagen digital, la cual está constituida por varios elementos llamados píxeles (picture elements). Cada píxel es el resultado de la combinación de valores de color en una posición registrada numéricamente [19].

b. Resolución de imagen

La resolución de imagen digital se refiere a la densidad de píxeles que se puede encontrar en un área determinada, la cual se puede identificar mediante el número de píxeles en el eje horizontal y vertical [18] [19].

c. Resolución espacial

La resolución espacial brindada por los satélites está determinada por la altitud de ubicación, la calidad de los sensores, el Angulo de visión y la velocidad de escaneo. Se puede determinar la calidad de una imagen debido al contenido de píxeles que esta contenga por la distancia de cobertura espacial. La tierra cuenta con un perímetro

aproximado de 40075 km, esta unidad medida en grados se transformaría en 360° lo que nos dice que en cada grado obtendremos una distancia de 111.32km [19].

d. Resolución temporal

Es la frecuencia en la cual el satélite realiza el escaneo por el mismo punto de la superficie terrestre, las características de las órbitas de ubicación de los satélites están vinculadas directamente con este tipo de resolución [19].

1.5.7. Recolección de datos

El sistema SIG es utilizado para la recopilación de datos, gracias a sus beneficios principalmente a tres factores. El primero factor se refiere a la fácil combinación de diversos datos no relacionados unidos mediante la ubicación tan solo utilizando geo codificación. Como segundo factor a pesar de que siempre se encuentran con datos faltantes por el uso de Big Data SIG utiliza la predicción de valor de regresión lineal múltiple que está basada en geo códigos. Como último factor es la generación de características [20].

1.5.7.1. Selección de características

La estimación de datos urbana utilizando Big Data generalmente contiene cientos de atributos, los cuales pueden ser irrelevantes para el modelo de cálculo u ocasionar una mezcla de datos reduciendo el rendimiento del modelo final. El enfoque de selección en informática se puede dividir en tres tipos [20].

a. Método de filtro

Este tipo de método clasifica las características según su afinidad con el objetivo como: coeficientes de correlación y la ganancia de información. Se recomienda la correlación de selección de funciones CFS debido a su alta eficiencia computacional, los filtros CFS se fundamentan de la creación de buenos subconjuntos altamente correlacionados [20].

b. Método de envolata

Esta metodología a pesar de ser una forma simple y completa de seleccionar característica, el principal inconveniente presentado por este método es el tiempo que tendrá los cálculos, ya que cada valor de las variables pasará por el proceso matemático [20].

c. Método Integrado

Se refiere al procedimiento de selección de funciones basadas en la regresión y la clasificación algorítmica de sí mismo [20].

1.5.7.2. Formato de datos espacio-tiempo

En la actualidad se puede encontrar diversos formatos para los datos espacio-tiempo, los cuales son usados en instituciones científicas para almacenar gran cantidad de información, el principal Formato que se puede encontrar es NetCDF [21].

1.5.7.3. Network Common Data Form (NetCDF)

Este formato fue implementado en el año 1989 como formato de unidad estándar para la comunidad científica, utilizado principalmente para el almacenamiento de los datos atmosféricos y oceanográficos. Este tipo de formatos contiene información que permite identificar la clase de datos contenidos dentro del archivo (variable, unidad, dimensión y origen) [12] [21].

Entre sus principales características se encuentran:

- Escalables: facilidad de acceso a un grupo pequeño perteneciente a un grupo grande de información.
- Archivables: permite el acceso a versiones anteriores del NetCDF.
- Compartibles: varios lectores y escritores pueden acceder a NetCDF.
- Portables: Se puede acceder usar un archivo NetCDF de diferentes maneras.
- Auto-descriptivos: información descriptible de las variables que conforman el archivo NetCDF.

1.5.7.4. Tipos de datos

Para la calibración del sistema se podrá tener en cuenta la recolección de datos climatológicos, distribución de la población y el consumo eléctrico.

a. Datos climatológicos

Las investigaciones de datos climatológicos deben revisarse con una resolución tanto espacial como temporal. Esto significa que la resolución espacial debe ser máximo de 1 km^2 mientras que en el ámbito temporal tiene una calibración de datos por hora durante los años 2010-2020. Estos datos son proporcionados por la NASA en su fuente MERRA-2 [22]. Además, están relacionados con el uso final de energía en la refrigeración de hogares, el calentamiento de hogares o calentamiento de Agua como se puede observar en la Figura 10. Determinando la temperatura con la cual los tres agentes entrarían en funcionamiento y provocarían la elevación de consumo en determinadas horas del día [7] .

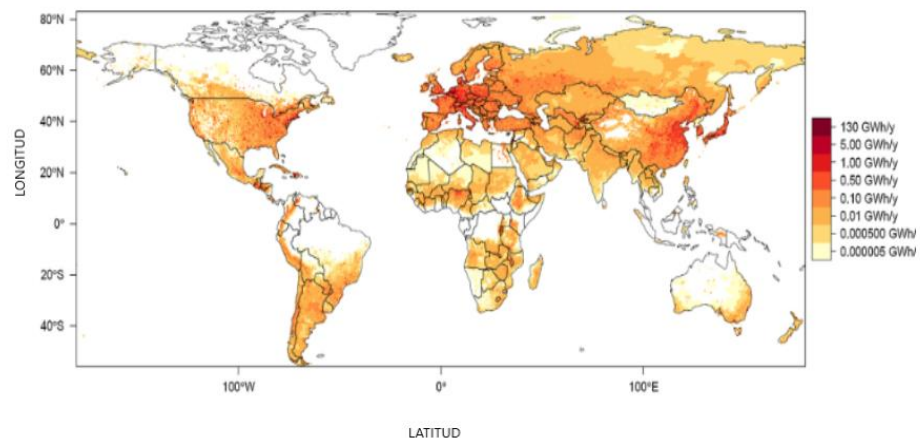


Figura 10. Demanda de energía en ambiente cálido [7]

Se utilizan datos meteorológicos permitiendo el paso a datos de incertidumbre que se crea especialmente en lugares montañosos. El modelo de datos climáticos espaciales con amplitud de tiempo consta de beneficios, así como la capacidad de simular periodos de tiempos específicos. Resultando útil especialmente con los vacíos de datos de tiempo creando históricos en simulación de edificios, escenarios de clima estandarizado, como años pasados y futuros. Mientras que en la estimación de datos

en exteriores a largo plazo se toma datos de temperatura media o por determinadas horas [22].

b. Datos de distribución poblacional

La densidad poblacional de un área determinada es calculada al dividir la población que ocupa dicha área para la extensión de esta, logrando así establecer una relación directa entre la población y el área que ocupa. Más dentro de este estudio se debe tener en consideración que los recursos naturales como las características del suelo, vegetación, fauna, recursos minerales y energéticos, etc., actúan como factores de atracción para la población, que acude a los lugares donde estos se localizan en busca de su explotación y aprovechamiento. La distribución de la población en la superficie terrestre es muy desigual de unos puntos a otros [16]. Para estudiar esta distribución es importante conocer previamente dos conceptos básicos que ayudan a su comprensión:

- Población absoluta: La población absoluta es el número total de habitantes que vive en un lugar determinado.
- Densidad de población: La densidad de población nos señala la relación entre el número de habitantes y el espacio en el que viven y por lo tanto con los recursos de que dispone esa sociedad para sobrevivir. Para calcularla se ha de dividir la población absoluta entre la superficie (en kilómetros cuadrados) en los que vive esa población [23].

Los datos de distribución espacial se implican con la cantidad de habitantes en cierto sector para la calibración y así estimar el consumo determinando las residencias posibles. Estos datos se deben tener bajo la resolución de 1 km^2 demanda de calor por habitante en áreas densamente pobladas en comparación con las rurales. Estos datos se pueden obtener mediante la recopilación satelital de datos de la NASA – CIESIN [23] y la calibración de datos nacionales proporcionados por el INEC [24] como se ve en la siguiente Figura 11.

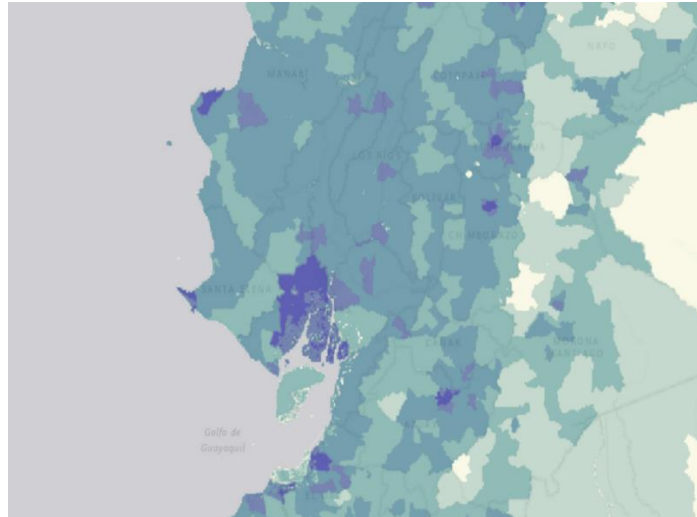


Figura 11. Distribución poblacional [23].

c. Energía eléctrica en el sector residencial

El cálculo energético tiene la función de una posible tendencia de desarrollo, el cual consta de dos componentes:

- **Demanda de energía en el sector residencial**

Los cálculos de la demanda energética se realizan de manera independiente debido a la naturaleza demográfica del Ecuador. Para el área residencial se debe tomar en cuenta el lugar de residencia (zonas rurales y zonas urbanas). Además de considerar los equipos electrodomésticos utilizados para diferentes áreas (Calefacción, calentamiento de Agua, enfriamiento de espacios) como se muestra en la Tabla 2 [25].

Tabla 2. Uso final de la energía [25].

Formas de energía	Categoría de uso final				
	CH	CA	VH	I	AE
Combustibles tradicionales	X	X	X		
Biomasa moderna	X	X	X		
Electricidad	X	X	X	X	X
Calor directo	X	X			
Solar Térmica	X	X	X		
Combustibles fósiles	X	X	X	X	X

- **Consumo energético residencial**

El consumo de energía dentro del sector residencial viene dado por calentamiento de agua, iluminación, enfriamiento de hogares, calefacción de hogares, cocina, electrodomésticos (computadora, refrigerador) Figura 13. Para el año 2014 alrededor del 54% de la población mundial vive en un lugar rural y se estima que para el año 2050 esta cifra aumente al 75%, por lo que representa un ámbito importante satisface la demanda energética de una manera sostenible y limpia [15].



Figura 12. Distribución del consumo de energía residencial [26].

Determinando como importante la variación de tipo de residencia por tipo de vivienda y clima. Para Rotterdam tenemos que: el calentamiento de espacio representa en promedio mundial aproximadamente el 50% del total primario consumo energético de viviendas. Esta participación puede ser sensata mayor para edificios antiguos, especialmente para casas unifamiliares, y menor para edificios recientes como se puede observar en la Figura 14. El agua caliente sanitaria representa aproximadamente 10-13% de la energía primaria total. La intensidad de consumo para este uso final es mayor para los de edificios antiguos debido a la presencia de calderas con menor eficiencia. Cocinar da lo más pequeño contribución entre los usos finales considerados y representa típicamente 3–4% de la energía primaria total. Electricidad para otros usos representa en promedio el 34% de la energía primaria total. La intensidad energética es más alta para unifamiliares y más baja para multifamiliar alojamiento [27].

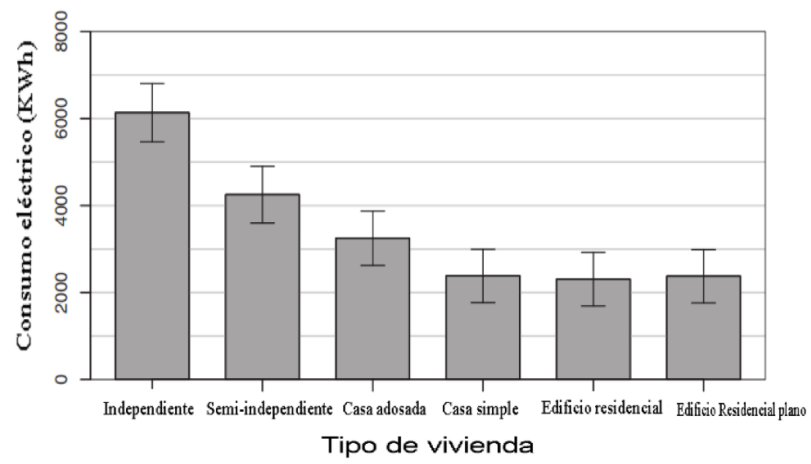


Figura 13. Consumo eléctrico por tipo de vivienda [27].

Se estima que el consumo residencial Urbano representa un 30% mayor al residencial rural generado [27].

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

En este capítulo se realiza una descripción detallada sobre los métodos que se han utilizado en el presente trabajo de investigación. Para ello se detallan métodos necesarios para la obtención de resultados reales. De la misma manera se especifican el proceso de recolección de datos y la línea proceso de cálculos empleado para la obtención de los datos de demanda energética compuestos objetivo de este estudio, el equipo y librerías que se han utilizado.


2.1. Materiales y equipos

2.1.1. Equipos y librerías

En la elaboración de este proyecto se han utilizado diversas librerías de R y un equipo (computador) los cuales han permitido realizar los objetivos.

La Tabla 3 muestra el equipo utilizado para la recolección y calibración de todos los datos.

Tabla 3. Equipos utilizados.

Equipo		
Computador	El equipo que se ha utilizado para la elaboración del código y el procesamiento de los cálculos.	

La Tabla 4 describe las librerías usadas en el proyecto de investigación, con una descripción rápida de las actividades que puede realizar cada una.

Tabla 4. Librerías usadas.

Librerías	
Librería pacman	Con el paquete se puede cargar de forma rápida todos los paquetes deseados, instalando los faltantes con un solo comando.
Librería sf	Es un paquete que proporciona acceso a <i>Simple Features</i> para R. Se une a 'GDAL' para leer y escribir datos espaciales.
Librería fasterize	Conversión rápida de datos formato polígono a formato ráster.
Librería sp	paquete nos proporciona clases y métodos para tratar con datos espaciales.
Librería ráster	El paquete ráster permite la lectura, escritura,

	manipulación, análisis y modelado de datos espaciales.
Librería rgdal	Contiene funciones para escribir archivos ráster y vectoriales en formatos compatibles.
Librería rgeos	El paquete rgeos proporciona una interfaz para funciones de topología para objetos espaciales de sp utilizando la librería GEOS .
Librería tidyverse	Es una librería que resume la mayor parte de las tareas que tiene que realizar un data-scientist.
Librería dplyr	Creada para transformar los datos, vendría a ser el equivalente a un lenguaje SQL
Librería ncdf4	Este paquete permite abrir y los conjuntos de datos se pueden leer fácilmente. También es fácil crear nuevas dimensiones, variables y archivos netCDF
Librería maptools	Es un conjunto de herramientas para manipular datos geográficos. Se trata de un paquete dependiente de sp, y que se puede utilizar para graficar mapas
Librería ggplot2	Encontramos una colección de funciones para visualizar datos espaciales y modelos sobre mapas estáticos online.

2.2. Métodos

2.2.1. Diseño del modelo experimental

Este modelo experimental está basado en estudio realizado [7] el cual especifica un diseño lineal que vincula a dos variables independientes y una variable dependiente. Dando como resultado la variable independiente final de la demanda de energía como se puede visualizar en el diagrama de la Figura 15.

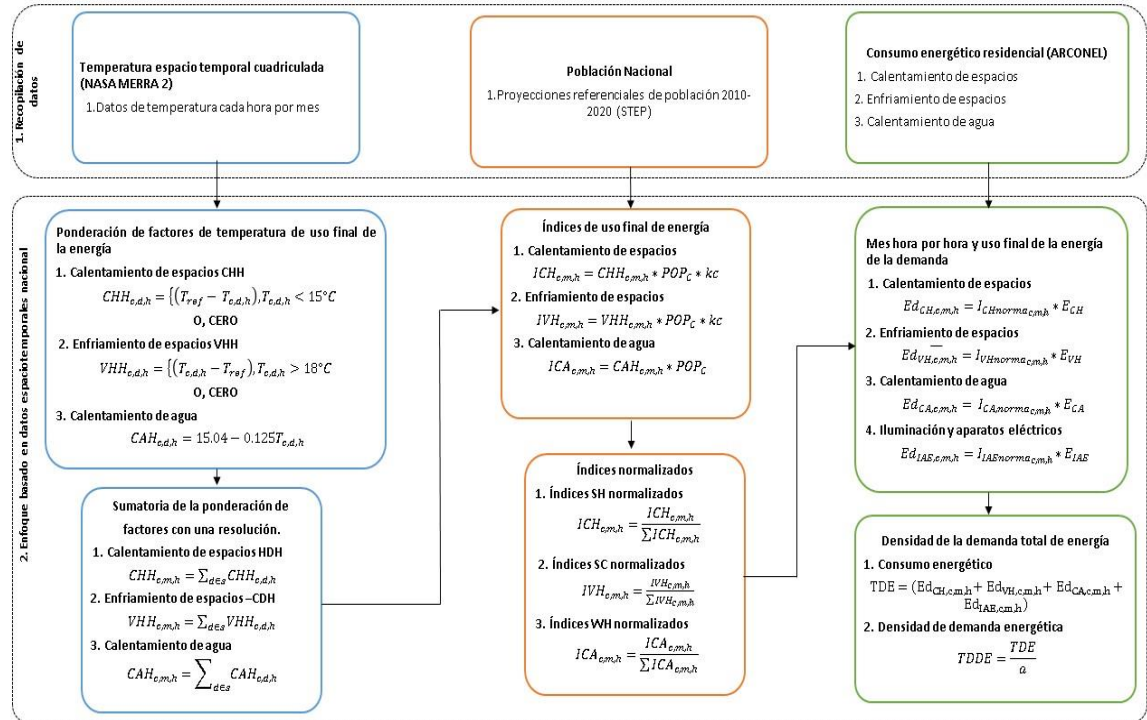


Figura 14. Diagrama de descripción general del proceso.

2.2.2. Tipo de investigación

Este proceso de investigación basado en los objetivos será el cálculo de la distribución espacial y temporal de la demanda de energía en el sector residencial del Ecuador entre 2010 y 2050 a una resolución de km^2 por hora usando Sistemas Geográficos de Información. Se recurrió a un diseño experimental, el cual se llevará a cabo de manera cuantitativa, considerando que este tema de investigación cuenta con bases de datos meteorológicos, de distribución poblacional y de consumo eléctrico del sector residencial de los últimos 10 años. Además, basado en los datos de la última década se proyecta hasta el 2050 de manera prospectiva, para conocer la representación de alternativas energéticas renovables por sector.

Se puede decir que el diseño experimental “consiste en someter un objeto en estudio a la influencia de ciertas variables, en condiciones controladas y conocidas por el investigador, para observar los resultados que la variable produce en el objeto” [7].

2.2.3. Enfoque de la investigación

En esta investigación será diseñada bajo el planteamiento metodológico de enfoque cuantitativo, ya que se distinguen por medir valores cuantificables por ende es el que mejor cubre las necesidades de la investigación. De este tipo de enfoque se usará la técnica de experimento de datos para la correlación de datos etc. meteorológicos, distribución poblacional y de consumo eléctrico del sector residencial de los últimos 10 años. Se conoce como enfoque cuantitativo [28]

2.2.4. Operacionalización de variables

2.2.4.1. Variable independiente

Tabla 5. Operacionalización de variables independientes.

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
Los datos registrados por las entidades públicas nacionales (INAMHI, INOCAR, ARCOTEL, INEC) e internacionales como la NASA. Son importantes para la calibración aceptable de datos requeridos	Datos espacio temporales del clima ecuatoriano	Temperatura ambiental	Datos por hora, día, semana, mes, año	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recopilación de datos ✓ Calibración de datos ✓ Ingreso de datos en el programa R
	Distribución espacial de la población ecuatoriana	Crecimiento poblacional	Datos Del año 2010-2050	
		Distribución poblacional	Escala espacial 1km ²	
	Consumo energético	Energía Eléctrica	Datos por cantón, provincia, zona	

para la estimación de demanda energética en la zona residencial a nivel nacional				
--	--	--	--	--

2.2.4.2. Variable dependiente

Tabla 6. Operacionalización de variable dependiente.

Definición de la variable	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
Se realizará un cálculo de distribución espacial y temporal mediante el programa R-estudio que permita estimar la demanda energética para el uso de refrigeración y calefacción de las zonas residenciales del 2010 al 2050	Programación	Relación de datos	Plantillas de datos calibrados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hojas de registros ✓ Procedimiento adecuado ✓ Programación acorde
		Resultados	Hoja de resultados	✓ Gráficas
		Conclusión	Escritura de manuscrito	

2.2.5. Técnica de recolección de datos

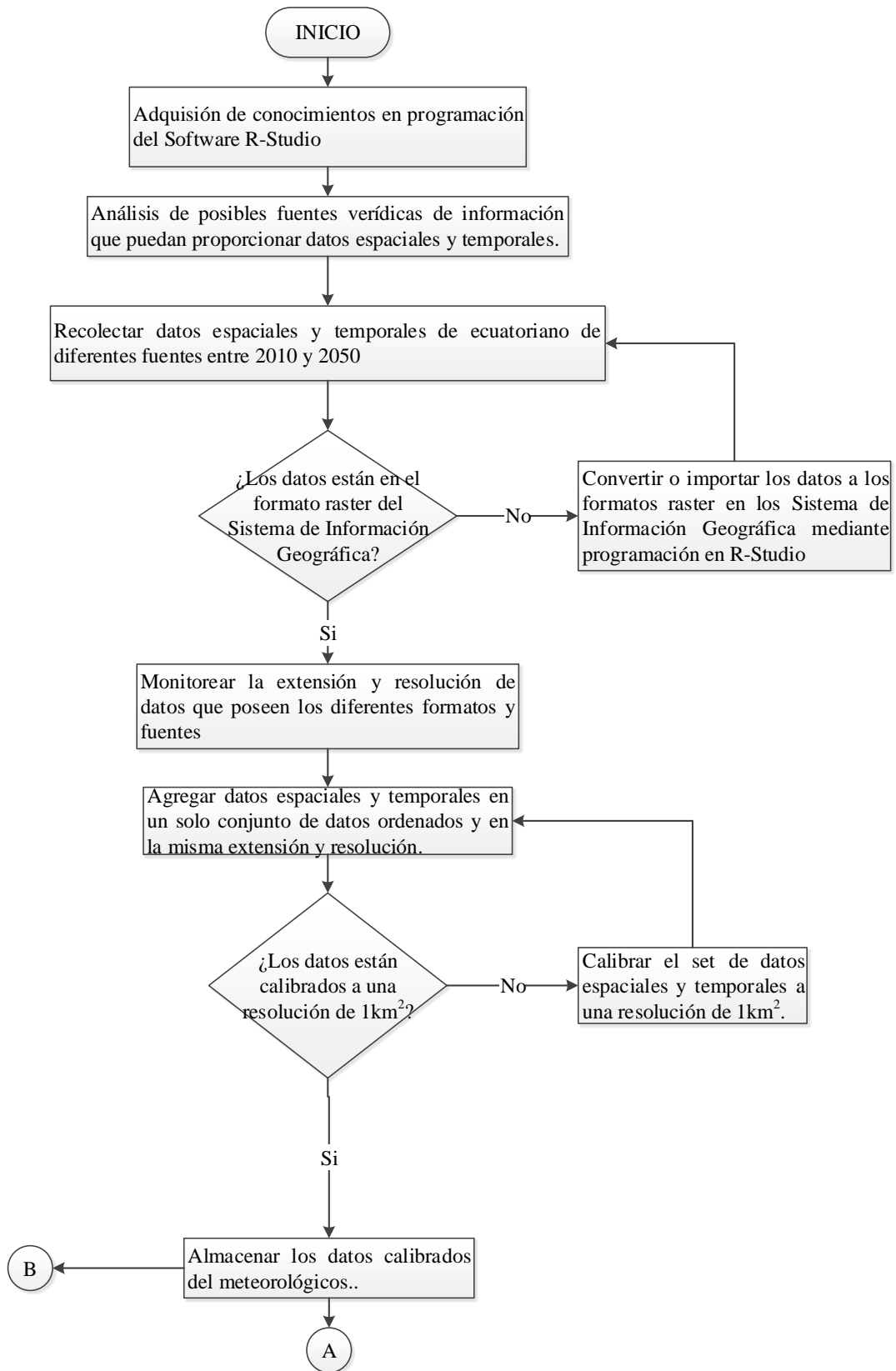
La recolección de datos se realizará mediante la búsqueda de fuentes nacionales e internacionales asociado a cada variable, teniendo en cuenta las restricciones que se

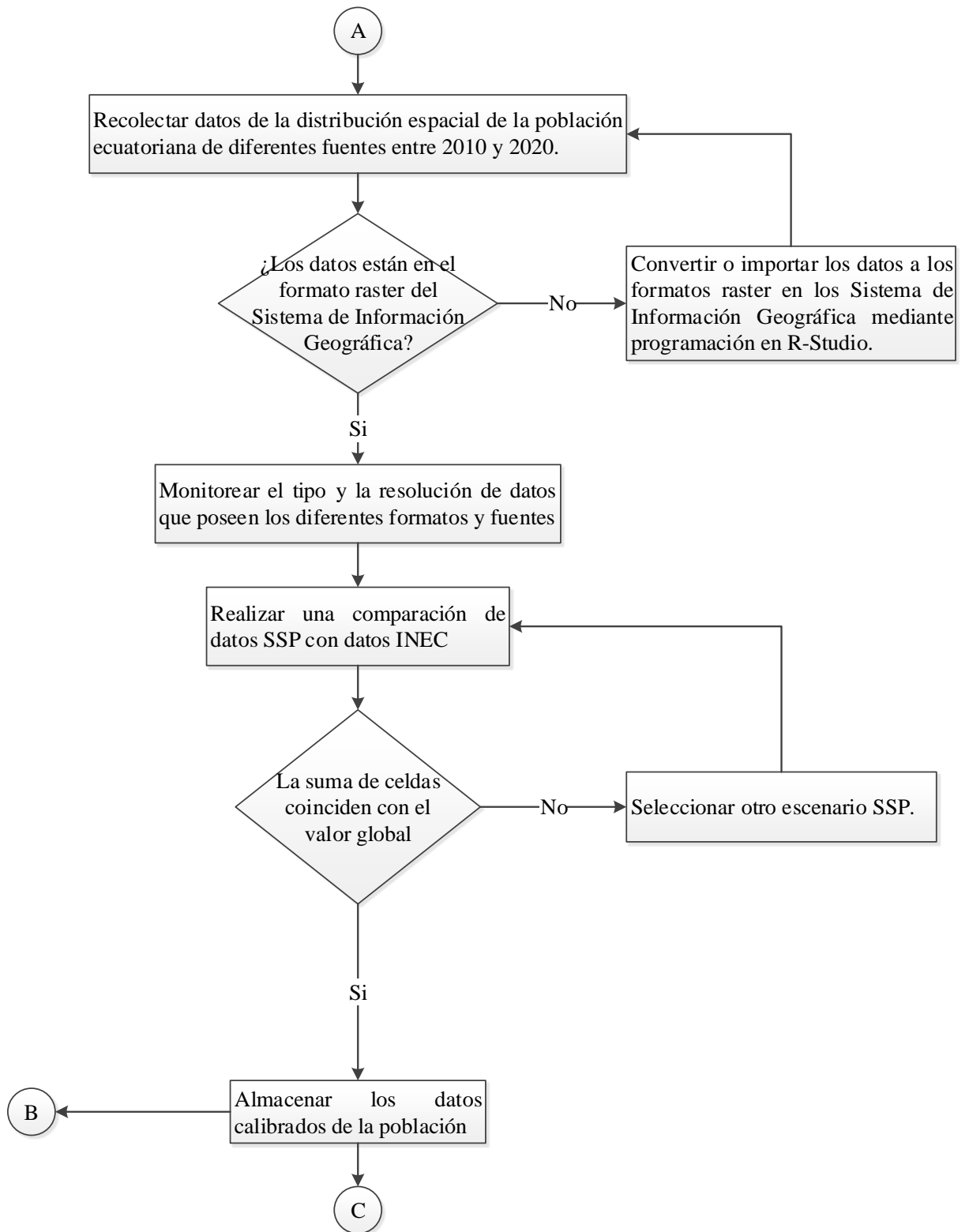
necesitará ya sean estas: resolución espacial, resolución temporal, extensión o formato de datos obtenidos, con el fin de poder procesar todos adecuados a la investigación.

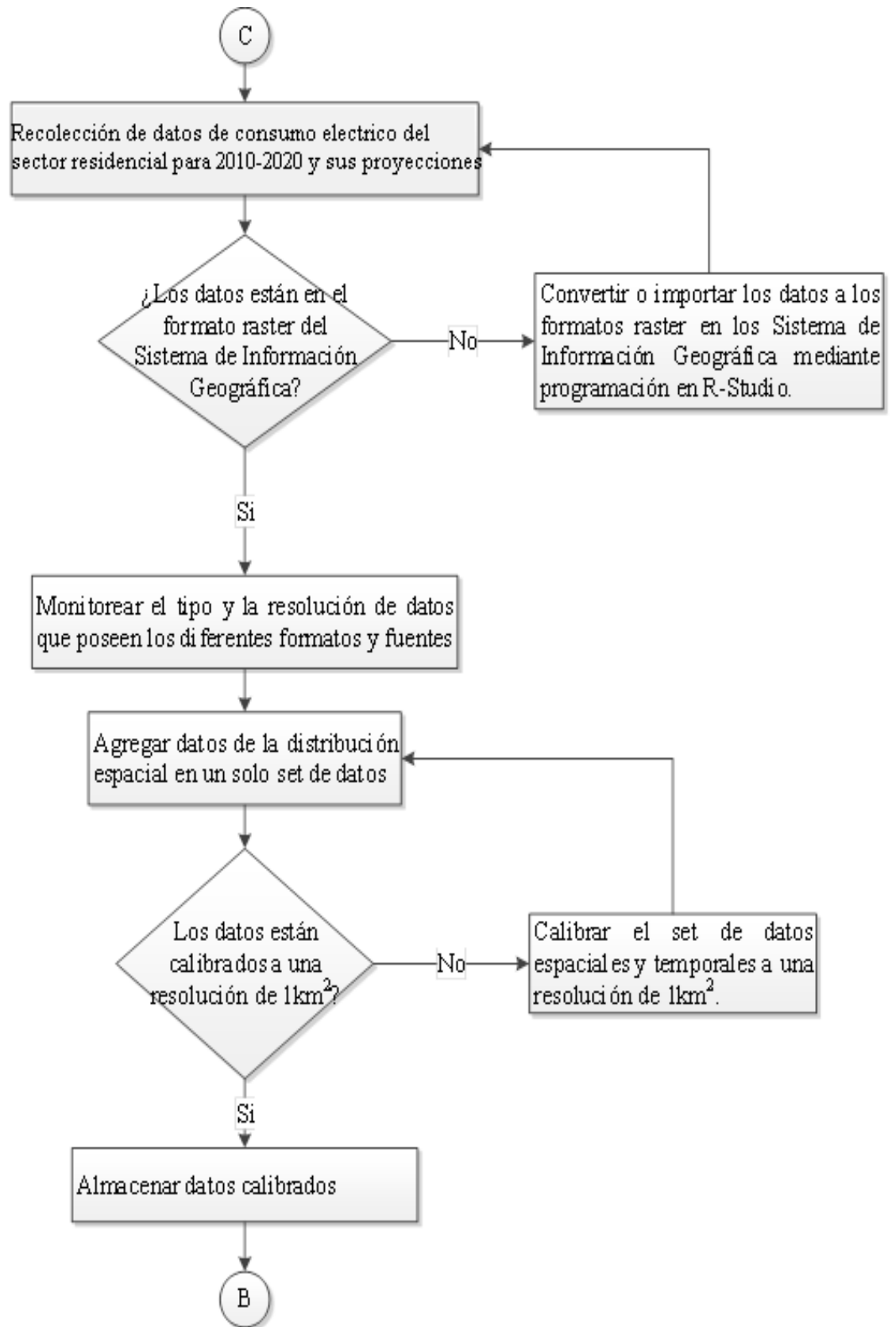
2.2.6. Técnica de procesamiento de datos

La técnica de procesamiento de datos será la planteada en el artículo [7], ya que contiene todos los procesos matemáticos que se debe realizar para un proceso continuo de cada variable. Además, del proceso que debe pasar cada variable por separado para que coincidan en extensiones y resolución.

2.2.7. Plan de procesamiento y análisis







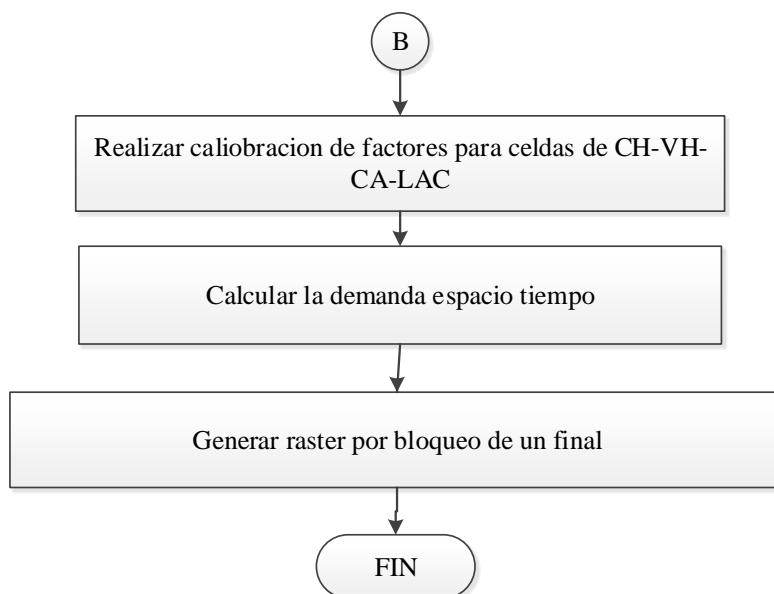


Figura 15. Diagrama de plan de recolección y calibración de datos.

2.3. Plan de recolección de información

En la Tabla 7 se expone sobre las técnicas sobre la recolección de datos y la calibración para su uso.

Tabla 7. Plan de recolección de datos.

Plan de recolección de información	
¿Qué?	Obtención de datos numéricos y gráficos de las propiedades de los diferentes ráster.
¿Para qué?	Investigación de los factores para que influyan directamente en el consumo energético residencial
¿Quién?	El presente trabajo experimental será desarrollado por el investigador.
¿A quiénes?	Los datos finales se obtendrán de la elaboración de cálculos de los diferentes ráster.
¿Como?	Los cálculos se realizarán mediante el seguimiento de pasos definidos.
¿Cómo qué?	Se realizará la adquisición de datos mediante entes gubernamentales nacionales e internacionales.
¿Cuándo?	En el periodo noviembre 2020 diciembre 2021.

La metodología utilizada en este trabajo experimental consta de varias etapas dependientes entre sí, por tanto, es importante la ejecución de estas de manera continua. Se clasifica según las actividades realizadas en el trabajo.

2.3.1. Estudios preliminares

La evaluación y recopilación de información teórica de investigaciones similares en lo que respecta al análisis numérico del consumo eléctrico residencial que permitan reconocer el terreno para poder definir de forma efectiva el diseño y procesos aplicables en estudio.

2.3.2. Modelos de análisis

Los datos de los factores analizados se registrarán directamente ante los parámetros a la resolución, extensión y tipo de documento a trabajar ya que a partir de estos parámetros se generará un modelo matemático que permitirá generar un modelo digital para simular situaciones de consumo energético por kilómetro cuadrado en el territorio ecuatoriano.

2.3.3. Modelo matemático

El modelo matemático involucra los pasos matemáticos planteados de ecuaciones mediante investigaciones basadas en el consumo energético, que permita el cálculo de la demanda energética desde el año 2010 al 2020 y la predicción del consumo energético hasta el año 2050.

2.3.4. Modelo del cálculo de la demanda energético en el sector residencial

2.3.4.1. Ponderación de factores por usos finales de la energía

La demanda energética del sector residencial está representada en su mayor parte por cuatro ponderaciones del uso final de la energía, el calentamiento de hogares (Ecuación 1) la ventilación de hogares (Ecuación 2) y el calentamiento de agua (Ecuación 3) Estos tres procedimientos se realizan mediante los modelos matemáticos presentados por J. Sachs [7].

$$CHH_{c,d,h} = \{(T_{ref} - T_{c,d,h}), T_{c,d,h} < 15^{\circ}C\} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$VHH_{c,d,h} = \{(T_{c,d,h} - T_{ref}), T_{c,d,h} > 18^{\circ}C\} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$CAH_{c,d,h} = 15.04 - 0.125T_{c,d,h} \quad \text{Ecuación 3}$$

Siendo:

$T_{c,d,h}$ = Temperatura de cada celda de cada día de cada hora [$^{\circ}C$]

T_{ref} = Temperatura de referencia para cada caso

CHH = Calentamiento de hogares por hora

VHH = Ventilación de hogares por hora

CAH = Calentamiento de hogares por hora

2.3.4.2. Sumatoria de Ponderación de factores de usos finales de la energía

El segundo paso después de la ponderación de los factores se realiza una suma de todos los factores de CHH (Ecuación 4), los factores VHH (Ecuación 5) y los factores CAH en la (Ecuación 6).

$$CHH_{c,m,h} = \sum_{d \in S} CHH_{c,d,h} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$VHH_{c,m,h} = \sum_{d \in S} VHH_{c,d,h} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$CAH_{c,m,h} = \sum_{d \in S} CAH_{c,d,h} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

c, m, h = celda de cada mes de cada hora

2.3.4.3. Índice de calentamiento de hogares, ventilación de hogares y calentamiento de agua.

Los índices de calentamiento de hogares (Ecuación 7), ventilación de hogares (Ecuación 8) y la de calentamiento de agua (Ecuación 9) deben ser multiplicados por

el factor kc que depende de la densidad de la población el cual tiene un valor de 0.61 a 1 [7].

$$ICH_{c,m,h} = CHH_{c,m,h} * POP_C * kc \quad \text{Ecuación 7}$$

$$IVH_{c,m,h} = VHH_{c,m,h} * POP_C * kc \quad \text{Ecuación 8}$$

$$ICA_{c,m,h} = CAH_{c,m,h} * POP_C * kc \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$ICH_{c,m,h}$ = *Indice de calentamiento de Hogares*

$IVH_{c,m,h}$ = *Indice de ventilación de Hogares*

$ICA_{c,m,h}$ = *Indice de calentamiento de agua*

POP_C = *Población en cada celda*

kc = *Ponderación de diferencia de consumo de población por cada celda*

2.3.4.4. Normalización de índice de calentamiento, ventilación y caliente de agua.

Se realiza la normalización de un índice para reajustar parámetros de la ponderación para cada uso final mediante las (Ecuación 10-12).

$$ICH_{norma_{c,m,h}} = \frac{ICH_{c,m,h}}{\sum ICH_{c,m,h}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$IVH_{norma_{c,m,h}} = \frac{IVH_{c,m,h}}{\sum ICH_{c,m,h}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$ICA_{norma_{c,m,h}} = \frac{ICA_{c,m,h}}{\sum ICA_{c,m,h}} \quad \text{Ecuación 12}$$

2.3.4.5. Uso final de la demanda de energía

Se realizó el cálculo de la demanda del uso final de la energía por cada hora por cada mes para un año, teniendo en cuenta el valor del porcentaje de energía que se aplicó para cada uso. Para la demanda de calentamiento de hogares (CH) se utilizó la (Ecuación 13), para la demanda de ventilación de hogares (VH) se utilizó la (Ecuación 14), sin embargo, para el calentamiento de agua (CA), iluminación y aparatos eléctricos (IAE) se utilizó el mismo índice normalizado de la (Ecuación 15) permitiendo así el desarrollo de las (Ecuación 15,16). Para realizar el cálculo se transformó el valor de KW/h a MW/h de los datos del consumo energético. Además, se clasificó según su uso final mediante los porcentajes de la Tabla 8, otorgados por la investigación del Estudio de la demanda de energía en el sector residencial del Ecuador usando Sistemas Geográficos de Información en un escenario sostenible post COVID-19. Los cuales nos permitieron obtener la energía de calentamiento de hogares (E_{CH}), la energía para la ventilación de hogares (E_{VH}), la energía para el calentamiento de agua (E_{CA}) y la energía para iluminación y aparatos eléctricos (E_{IAE}).

Tabla 8. Tabla de porcentajes de consumo final de energía anual

USO	PORCENTAJE DEL CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ANUAL
CH	48.62%
VH	28.88%
CA	0.962%
IAE	21.54%

Teniendo así que:

$$Ed_{CH_{c,m,h}} = ICH_{norma_{c,m,h}} * E_{CH} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$Ed_{VH_{c,m,h}} = IVH_{norma_{c,m,h}} * E_{VH} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$Ed_{CA_{c,m,h}} = ICA_{norma_{c,m,h}} * E_{CA} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$Ed_{IAE_{c,m,h}} = IAE_{norma_{c,m,h}} * E_{IAE} \quad \text{Ecuación 16}$$

2.3.4.6. Demanda total de la energía

El total de la demanda de energía por un país viene dado por la suma demanda de los usos finales de energía (Ecuación 17). Mientras que para la densidad de la demanda total se dividió para el área de cada celda (Ecuación 18).

$$TDE = Ed_{CH_{c,m,h}} + Ed_{VH_{c,m,h}} + Ed_{CA_{c,m,h}} + Ed_{IAE_{c,m,h}} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$TDDE = \frac{TDE}{a} \quad \text{Ecuación 18}$$

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Proceso de recolección, calibración y cálculos de los datos

Dentro del presente capítulo se abordará el desarrollo del modelo matemático propuesto para el cálculo de la demanda energética del sector residencial, el cual varía cada lustro desde el año 2010 al 2020. Además, se presentará resultados de las 4 mediciones de horas de cada década desde el año 2030 al 2050.

3.1.1. Recolección y calibración datos climatológicos

3.1.1.1. Resultado del proceso de recolección de datos climáticos para los años 2010-2020

La recolección de datos se realizó en la página NASA MERRA2 [22] en la que se pudo obtener los datos meteorológicos históricos a partir del año 1980, esta página nos brinda la oportunidad de calibrar los parámetros generales como refinar la región, refinar las fechas, el parámetro temporal y la selección de variables según la región como un subconjunto de datos.

Lo primero que se hizo fue seleccionar el tipo de archivo con el se trabajó, en este caso se ha seleccionado un modelo que permite trabajar con archivos netCDF o ASCII como se puede observar en la Figura 16.

Obtenga MERRA-2 inst1_2d_asm_Nx: 2d, 1 hora, instantáneo, de un solo nivel, asimilación, datos de diagnóstico de un solo nivel V5.12.4

Tamaño estimado de los resultados

3.987 días, 3.987 enlaces, 735,21 GB

Método de descarga ?

▼ Método de descarga: ✓ Obtener archivos originales Reiniciar

- Obtener [archivos originales](#)
Genere enlaces a archivos sin modificar directamente desde el archivo.
- Obtener subconjuntos de archivos usando [OPeNDAP](#)
Genere enlaces de archivos que admitan la búsqueda geoespacial y el recorte y selección de variables, en formatos netCDF o ASCII.
- Obtener subconjuntos de archivos utilizando el subconjunto [GES DISC](#)
Genere enlaces de archivos que admitan la búsqueda y el recorte geoespaciales, la selección de variables, la selección de la hora del día y el reencuentro, en formato netCDF.

Figura 16. Selección de formato de descarga.

El segundo paso fue refinar el rango de fechas con las que se trabajó. Con el rango de fechas diarias desde el primero de enero del 2010 hasta la fecha actual de los documentos recogidos tal como se muestra en la Figura 17.

Refinar rango de fechas ✓ 1980-01-01 hasta 2020-11-30 Reiniciar

NOTA: Todas las fechas y horas están en UTC .

Desde: A:

Rango disponible: 1980-01-01 a 2020-11-30

Enero de 1980						
Dom	Lun	mar	Mie	Jue	Vie	Se sentó
27	28	29	30	31	01	02
03	04	05	06	07	08	09
10	11	12	13	14	15	dieciséis
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31	01	02	03	04	05	06

Noviembre de 2020						
Dom	Lun	mar	Mie	Jue	Vie	Se sentó
01	02	03	04	05	06	07
08	09	10	11	12	13	14
15	dieciséis	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	01	02	03	04	05
06	07	08	09	10	11	12

Figura 17. Selección de rango de fechas.

Para los parámetros espaciales se definió la extensión del mundo con la que se trabajó, en el caso para cubrir toda el área del Ecuador con el término (-91.8,-5.115,-75.199,1.621) como se muestra en la Figura 18.

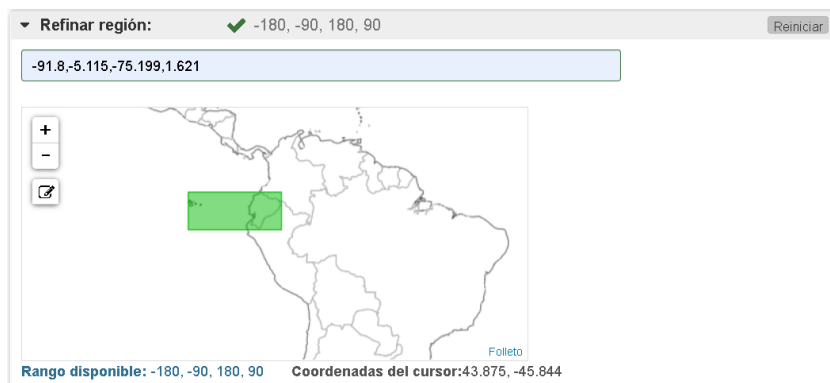


Figura 18. Selección de extensión de estudio.

Como cuarto paso se realizó la selección de variables con la que se va a trabajar. En este caso se seleccionó la temperatura a 2 metros como se visualiza en la Figura 19.

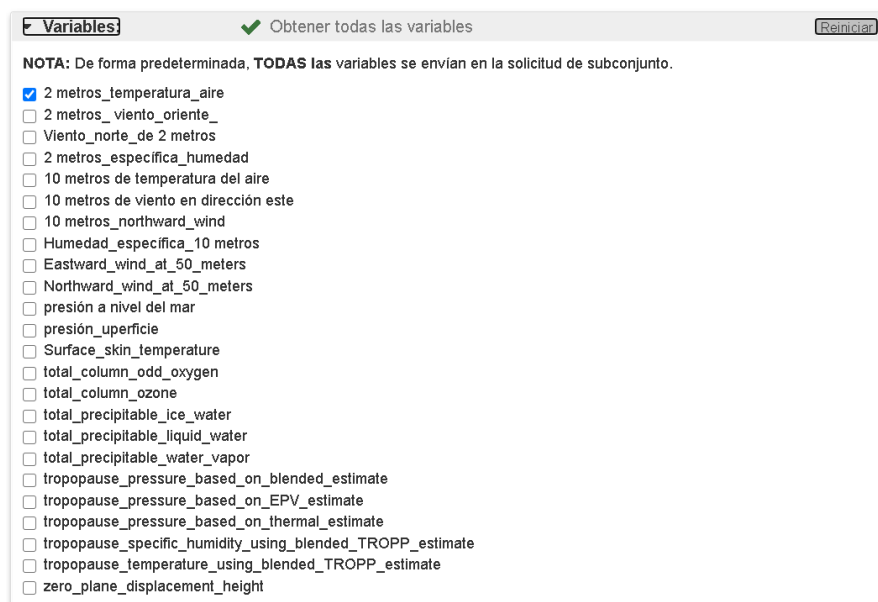


Figura 19. Selección de parámetros climatológicos.

3.1.1.2. Resultado Calibración de datos climatológicos de los años 2010-2020

Los datos conseguidos tienen una resolución muy amplia en la cual cada pixel abarca un área total de 75 km x 65 km. Además, es ser un archivo multicapa de 24 capas como se puede visualizar en la Figura 20.


```
class : RasterStack
dimensions : 14, 28, 392, 24 (nrow, ncol, ncell, nlayers)
resolution : 0.625, 0.5 (x, y)
extent : -92.1875, -74.6875, -5.25, 1.75 (xmin, xmax, ymin, ymax)
crs : +proj=longlat +datum=WGS84 +no_defs
names : x0, x60, x120, x180, x240, x300, x360, x420, x480, x540, x600, x660, x720, x780, x840, ...
```

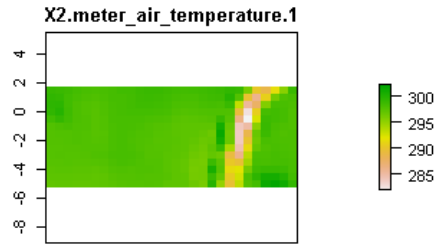


Figura 20. Resolución original de datos climatológicos.

Por lo que se procedió a cambiar el formato del archivo. El cambio de la resolución de cada píxel de 75 km x 65 km a 1 km, se hizo por un método de interpolación y un corte en el área terrestre separando el área acuática del Ecuador. Teniendo como producto final del código de calibración. Los datos climatológicos pasan por una interpolación espacial bilineal basados en el ráster de población correspondiente a cada año, que permitió trabajar con una capa de píxeles mucho más fina, como se puede ver en la Figura 21.

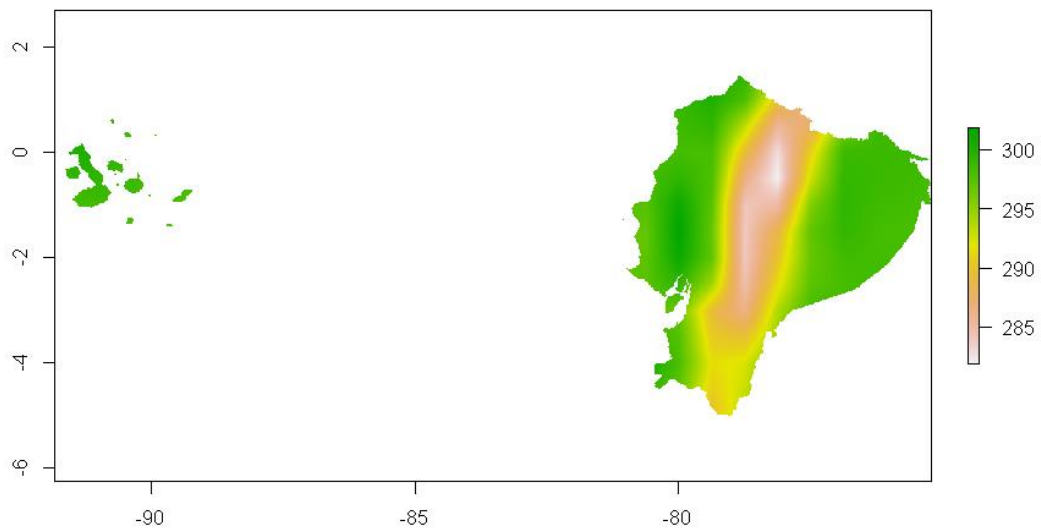


Figura 21. Temperatura en kelvin hora 1 del primer día en enero del 2010.

Además, los datos recolectados se encontraban con unidades de temperaturas kelvin se le restó 273.15. Dándonos así el valor de los píxeles en centígrados como se puede visualizar en le Figura 22.

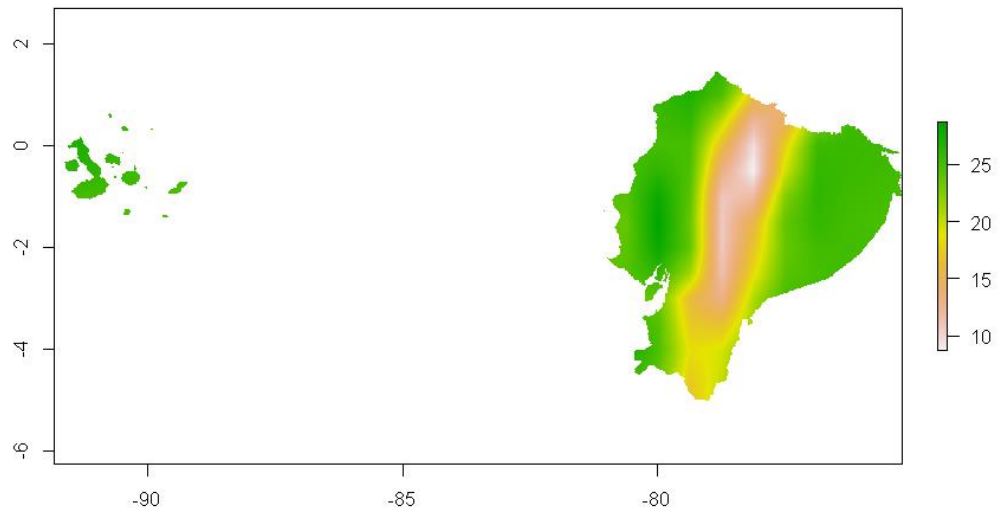


Figura 22. Temperatura en centígrados de la hora 1 del primer día del mes de enero del 2010.

3.1.1.3. Datos para proyecciones climatológicas

Las proyecciones de datos climatológicos se dan bajo criterios del escenario RCP (Representative Concentration Pathways) los cuales posibilitan cuatro futuros escenarios climatológicos de bajo, medio y alto impacto basados en datos históricos en base a la emisión de gases invernadero (GEI) [29].

El escenario RCP 8.5 es considerado un escenario más realista, ya que este está desarrollado bajo el criterio del crecimiento industrial y de la urbanización. El escenario propone que para finales del siglo XXI las temperaturas que van desde el 2.6°C a 4.8°C [30]. Los datos utilizados en la proyección de datos climatológicos sometidos al proceso CCSM4-WFR otorgados por el estudio [31]. Los datos del estudio nos muestran un formato “nc” de varias capas recopiladas durante todo un año, con cuatro tomas de temperaturas para cada día en las horas 0, 6, 12 y 18, para los años 2050 y 2041. Debido a que el cambio de temperatura entre años consecutivos no es representativo para los datos climatológicos del año 2040, se pueden tomar los del año 2041 para el estudio.

3.1.1.4. Resultados de la mejora de resolución de proyección datos climáticos años 2040-2050

Los datos originales presentados por el estudio de proyecciones RCP 8.5 [31] son datos que en cada píxel contiene aproximadamente 10 km² tomando en cuenta al Ecuador continental y excluyendo al archipiélago. Por lo cual se aplicó una interpolación espacial bilineal que permita tener la resolución espacial deseada como se puede ver en la Figura 23. Además, se realizó un cambio de extensión en el ráster (-81.08458, -75.20125, -5.00875, 1.457917) para que este coincida con los ráster energéticos y poblacionales y no genere ningún problema. Igualmente se transforma de Kelvin a centígrados.

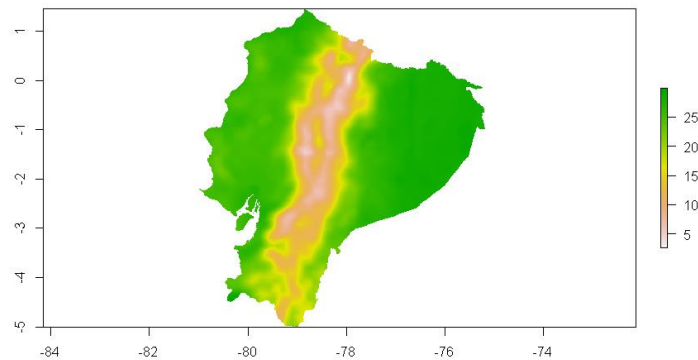


Figura 23. Temperatura en centígrados hora 0 del mes de enero del 2050.

3.1.1.5. Resultados de proyección datos climáticos para el año 2030

Debido a la ausencia de datos climatológicos con alta resolución temporal (hora por hora) para el año 2030, se elaboró un proceso en el cual se selecciona la hora 0, 6, 12 y 18 de cada día del año 2020 y 2041 para realizar una media de temperaturas con la cual se trabaja con la Ecuación 19.

$$T_{c,d,h,2030} = (T_{c,d,h,2020} + T_{c,d,h,2041})/2 \quad \text{Ecuación 19}$$

Con el fin de tener extensiones de trabajo definidas para las proyecciones de este año se trabajó con las extensiones (-81.08458, -75.20125, -5.00875, 1.457917) y se excluye el archipiélago de las Galápagos por ausencia de datos en el año 2041. Dándonos así

un ráster delimitado en sus extensiones y con una resolución de 1 km² como se muestra en la Figura 24.

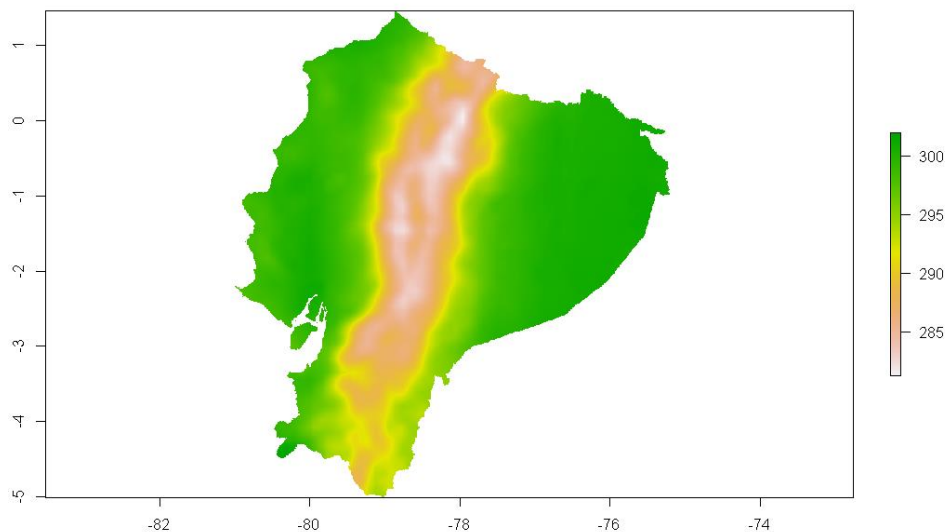


Figura 24. Temperatura en kelvin de la hora 0 del mes de enero del 2030.

Y finalmente se le restó 273.15 a cada celda para pasar de °K a °C, dando como resultado rasters como se puede visualizar en la Figura 25.

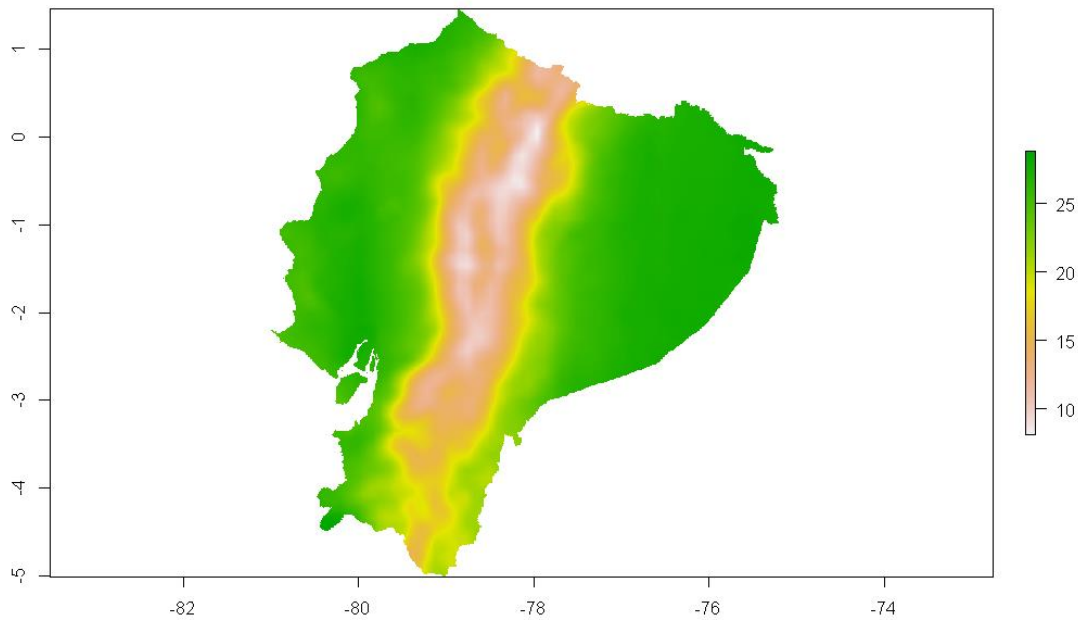


Figura 25. Temperatura en kelvin de la hora 0 del mes de enero del 2030.

3.1.2. Recolección y validación de datos poblacionales

3.1.2.1. Recolección de datos de la población de fuentes ecuatorianas

La recolección de datos sobre la distribución de la población ecuatoriana se la realizó mediante las páginas del Sistema nacional de información, la cual nos brindó datos reales de la población a nivel parroquial del 2010 y proyecciones de estas poblaciones hasta el 2020 como se visualiza en la Figura 26.

Estimaciones y Proyecciones de Población				
TEMA	AUTOR	AÑO DE ELABORACION	FUENTE	ARCHIVO
PROYECCIONES REFERENCIALES DE POBLACIÓN A NIVEL CANTONAL POR GRUPOS DE EDAD 2010-2020	STPE	2017 <i>Actualizado</i>	INEC, Censo de Población y Vivienda 2010	
PROYECCIONES REFERENCIALES DE POBLACIÓN A NIVEL PARROQUIAL 2010-2020	STPE	2017 <i>Actualizado</i>	Secretaría Técnica Planifica Ecuador, Subsecretaría de Información, Dirección de Normas y Metodología	
PROYECCIONES REFERENCIALES DE POBLACIÓN A NIVEL CANTONAL 2010-2030	INEC - STPE	2017 <i>Actualizado</i>	INEC, Censo de Población y Vivienda 2010	
PROYECCIÓN DE NACIMIENTOS A NIVEL CANTONAL, PERIODO 2010-2020	INEC	2017 <i>Actualizado</i>	INEC, EN BASE AL CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2010	
PROYECCIONES REFERENCIALES DE POBLACIÓN A NIVEL DE DISTRITOS DE PLANIFICACIÓN: 2010-2020	SENPLADES	2016	SENPLADES, Subsecretaría de Información, Dirección de Normas y Metodología	

Figura 26: Documentos de proyecciones poblacionales mostradas por el INEC.

Los datos obtenidos son en formato csv, así que se calibró los formatos para conseguir que estos sean raster con la extensión adecuada y con una resolución de 1 km² por medio de la interpolación de los datos obtenidos dándonos rasters como se muestran en la Figura 27.

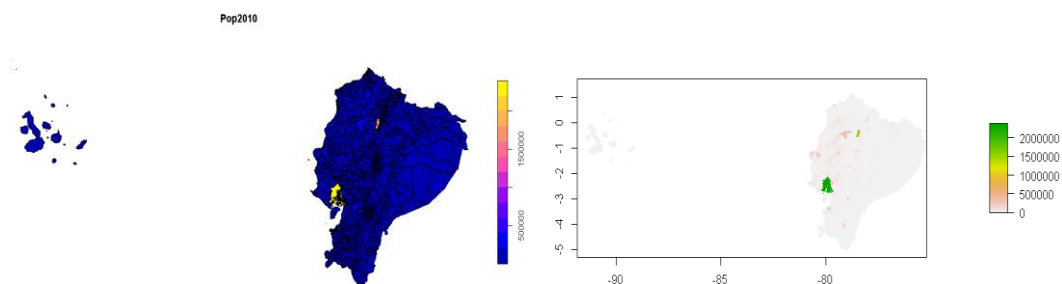


Figura 27. Comparativa Imagen formato csv vs Raster.

3.1.2.2. Recolección de datos de la población de fuentes internacionales

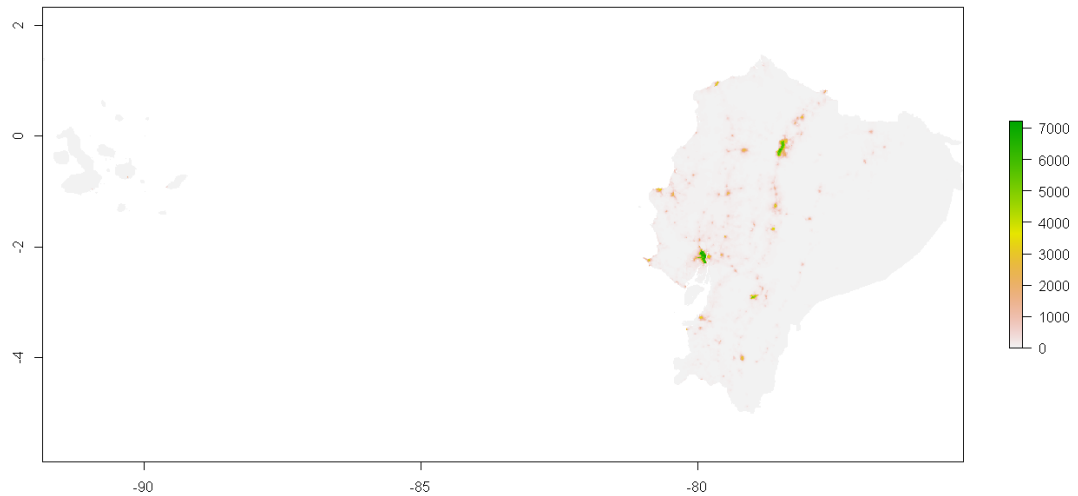


Figura 28. Población del Ecuador para el año 2010.

Los datos proporcionados por el Sedac-Ciesin [23] y calibrados por WorldPop [32] proveniente de una parte de la investigación del Estudio de la demanda de energía en el sector residencial del Ecuador usando Sistemas Geográficos de Información en un escenario sostenible post COVID-19. Cuentan con alta resolución espacial de 1 km^2 como se puede observar en la Figura 28. Sin embargo, tiene una resolución temporal muy baja a nivel anual. Esta página nos permite tener archivos en formato TIF con una distribución de la población realista, esto es por el uso real de imágenes satelitales.

3.1.2.3. Validación de los datos de población

La validación se realizó a nivel nacional y cortes de los ráster del CIESIN [23] en los principales cantones del país (Distrito metropolitano de Quito y Guayaquil). Realizando una sumatoria del valor de cada píxel o celda, para el año 2010 y mediante una comparativa numérica con los datos proporcionados por el INEC [24] en su último censo.

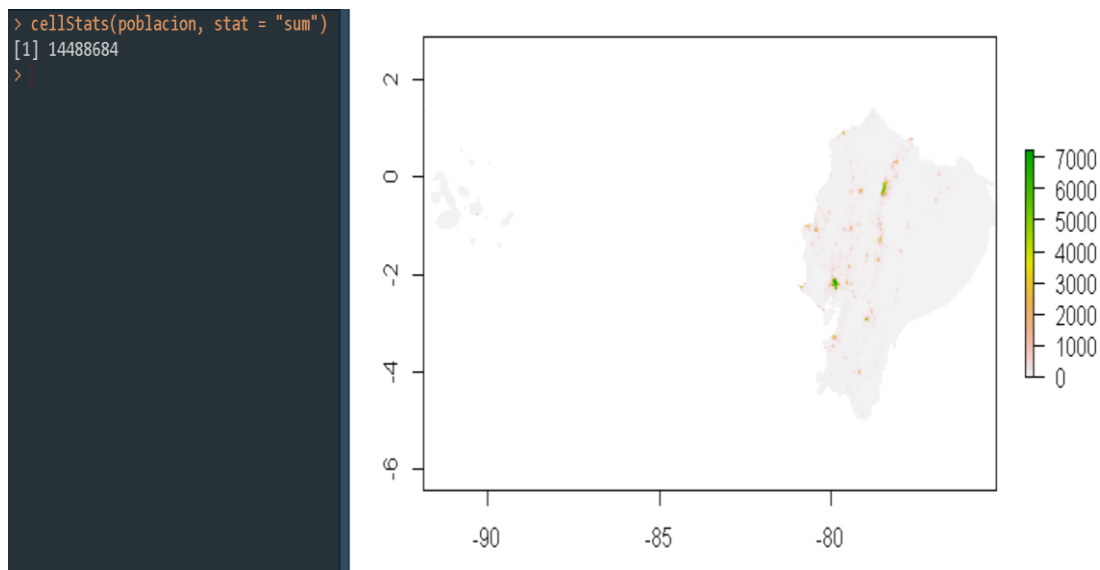


Figura 29. Sumatoria total de la población del raster para el año 2010.

En la Figura 29 podemos observar que la suma de los valores de pixeles del Ecuador tiene un total de 14488684 habitantes. En la Figura 30 podemos ver el recorte del distrito metropolitano de Quito el cual la suma de pixeles tiene un total de 2206351 habitantes.

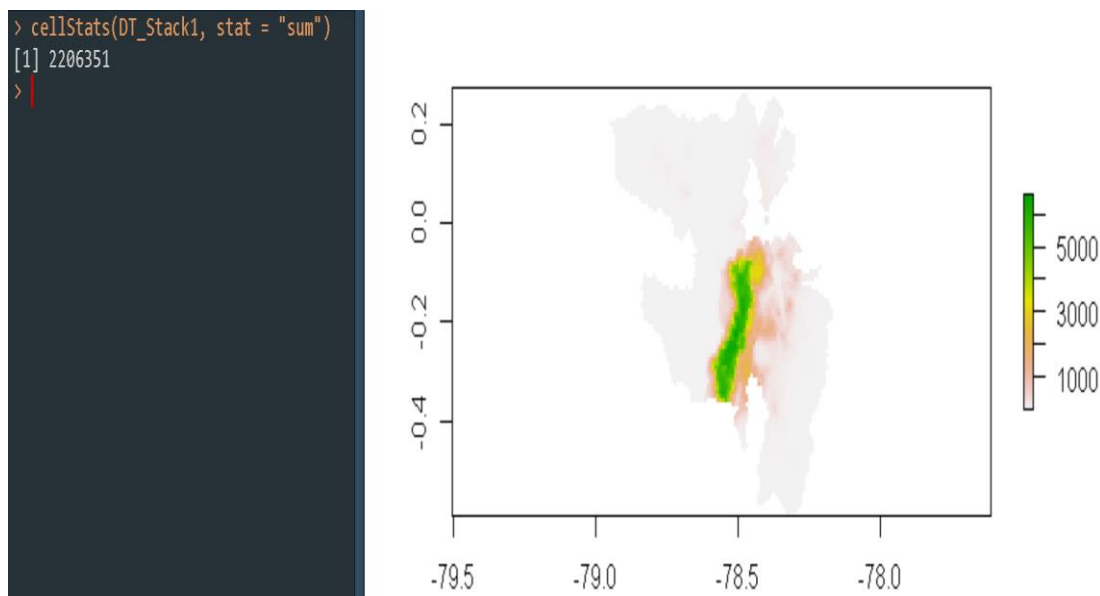


Figura 30. Sumatoria total de la población del Canto Quito para el año 2010.

Mientras que para la suma de valores de pixeles de la Figura 31 del canton de Guayaquil tiene un total de 2337311 habitantes.

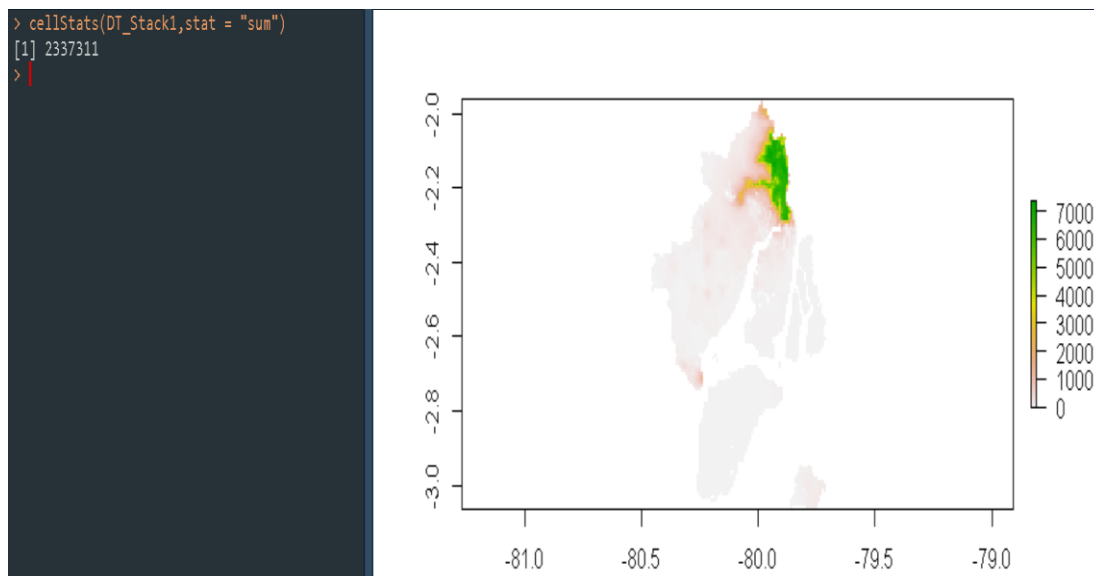


Figura 31. Sumatoria total de la población de Guayaquil para el año 2010.

En la Tabla 9 podemos visualizar el porcentaje de error que se tiene según los datos del INEC [24] para el 2010 que a nivel nacional tiene una población de 15011683 habitantes, para Quito la población tiene un valor de 2319651 habitantes, mientras que para Guayaquil la población total tiene el valor de 2440551 habitantes.

Tabla 9. Validación de Datos de población.

Raster	Población Ciesin	Población INEC	Porcentaje de Error(%)
Ecuador	14488684	15011683	3.48%
Quito	2206351	2319651	4.88%
Guayaquil	2337311	2440551	4.23%

Como se puede ver en la Tabla 9, el porcentaje de error de la población a nivel nacional es de 3.48%, en el Distrito metropolitano de Quito se obtuvo un error de 4.88% mientras que en Guayaquil un error de 4.23% cada uno de los ráster es menor al 10% lo que permite la validación de los ráster de población.

3.1.2.4. Datos para proyecciones poblacional

Las proyecciones de datos poblacionales se dan bajo criterios del escenario SSP (Shared Socioeconomic Pathways) los cuales describen futuros escenarios poblacionales enfocados en diferentes ámbitos como la evolución de la economía, cambios tecnológicos, porcentaje de desigualdad etc. Todos estos datos y aspectos son importantes para predecir un rango de la emisión de gases invernadero (GEI) [32].

El escenario SSP 2 es un escenario que representa un nivel intermedio de desafío para mitigación y adaptación. Estudios basados en SSP2 concluyen que el crecimiento energético en el sector de la construcción ocurre en países menos desarrollados, debido al continuo aumento poblacional y la rápida urbanización [33]. Teniendo un aumento de temperatura de 2°C siendo el cambio demográfico el principal responsable [34].

La página SEDAC-CIESIN [23] brinda datos poblacionales bajo parámetros SSP2 como se puede ver en la Figura 32.

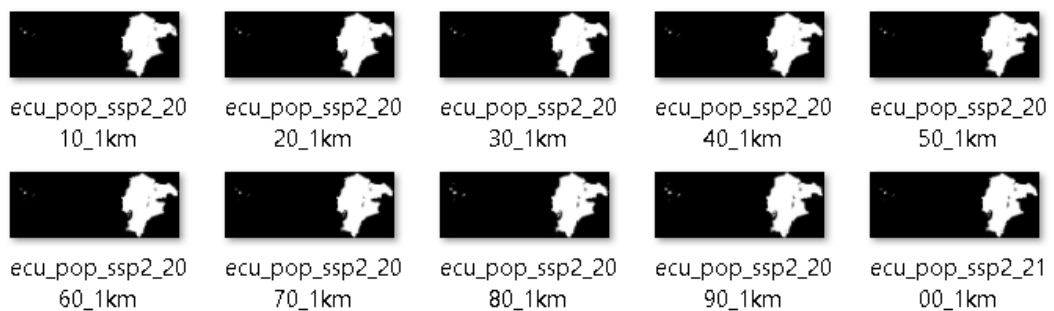


Figura 32. Rasters poblacionales por decada del 2010 al 2100 [23].

3.1.3. Proceso de recolección de datos del consumo eléctrico residencial

La recolección de datos sobre el consumo eléctrico de la población ecuatoriana se la realizó mediante la página SISDAT del ARCONEL [36], la cual nos brinda datos reales del consumo a nivel parroquial del 2010 al 2020. Mediante la selección de parámetros de los reportes de estadística del sector eléctrico como se visualiza en la Figura 33.



Figura 33: Visualización página de descarga del sistema de datos nacional

3.1.3.1. Transformación de datos de csv a ráster a nivel parroquial

Los datos obtenidos son en formato csv, así que se calibró los formatos para conseguir que estos sean raster con la extensión adecuada y con una resolución de 1 km² por medio de la interpolación de los datos obtenidos.

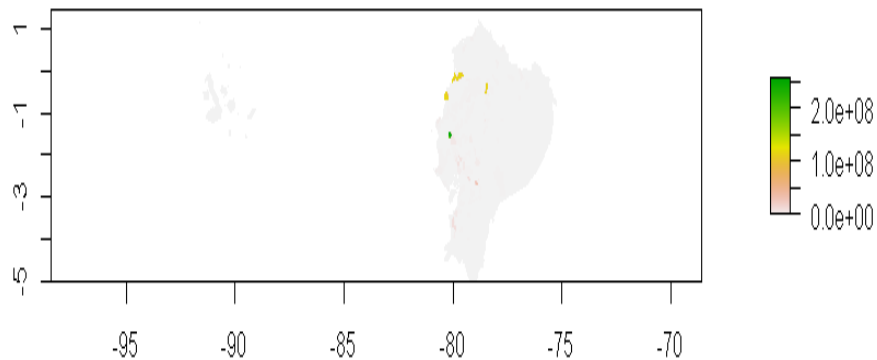


Figura 34. Transformación csv a raster a nivel parroquial.

Se puede observar en el lado derecho de la Figura 34 el ráster resultante tiene una distribución poco adecuada para el estudio omitiendo y no reconociendo varios códigos de las parroquias.

3.1.3.2. Transformación de datos de csv a ráster a nivel Cantonal

Para la elaboración del ráster a nivel cantonal en la Figura 35 se puede visualizar una mejor distribución del consumo energético mensual, esto se logró sumando el consumo energético residencial de cada parroquia a cada cantón correspondiente.

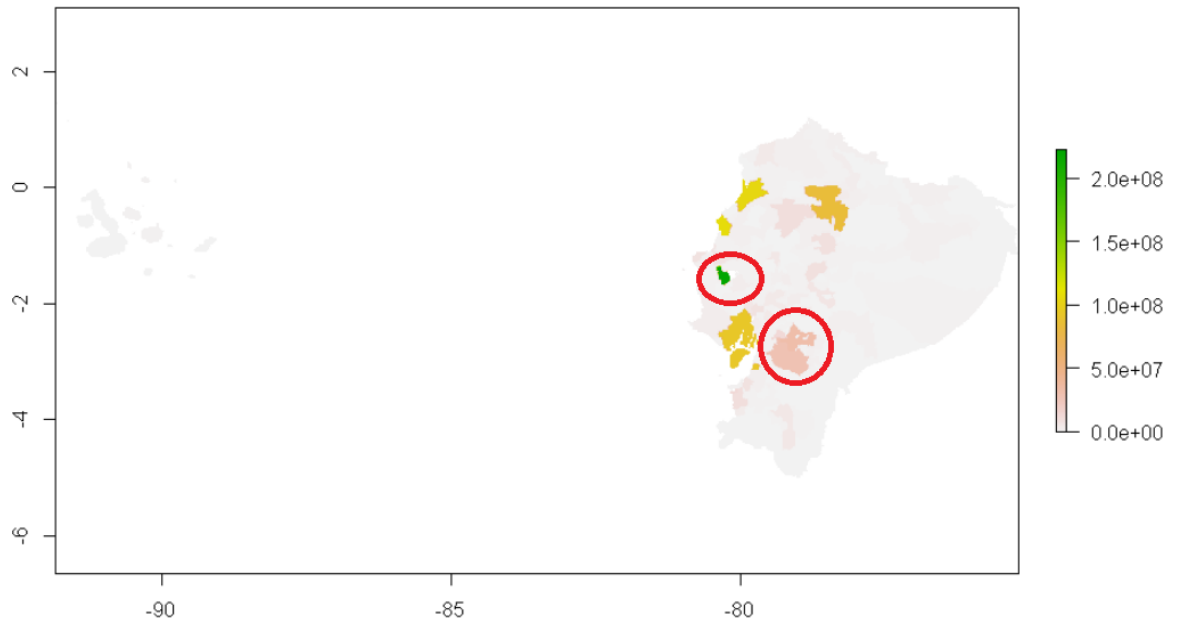


Figura 35. Resultado de transformación de datos de nivel cantonal de csv a raster.

Sin embargo, existe partes donde el código no es reconocido y que generó espacios en blanco por el cual se procedió a realizar a una escala geográfica mayor.

3.1.3.3. Transformación de datos de csv a raster a nivel Provincial

Para la elaboración del raster a nivel provincial en la Figura 36 se puede visualizar una mejor distribución del consumo energético mensual, esto se logró sumando el consumo energético residencial de cada cantón a cada provincia correspondiente.

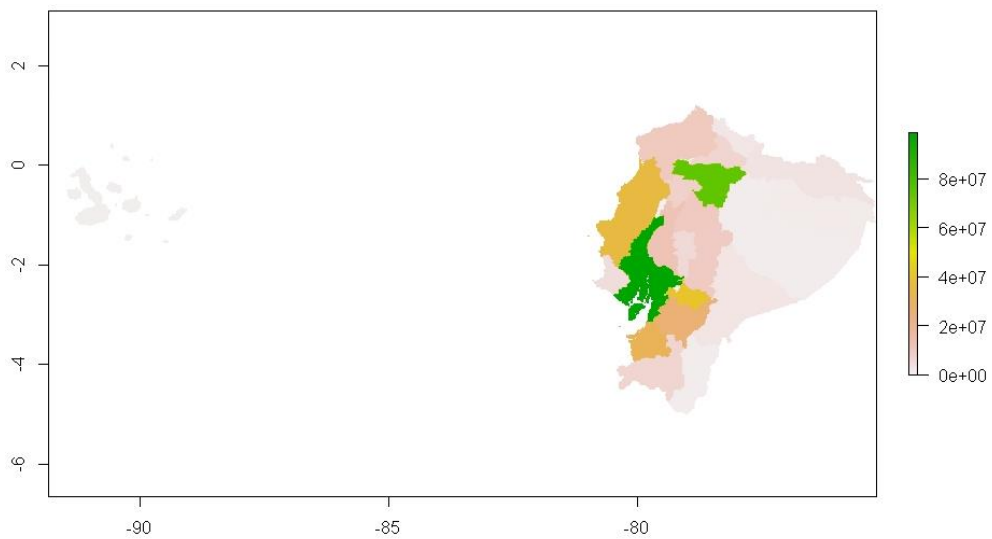


Figura 36. Resultado de transformación de datos a nivel provincial de csv a raster.

En la Figura 36 se puede ver que las provincias de mayor consumo son Guayas y Pichincha. Además de que la concentración energética se da en la zona sierra y costa del país. Sin embargo existe problemas con la concentración energética tomándose finalmente un ráster total del Ecuador

3.1.3.4. Datos para proyecciones Energéticas

Los datos energéticos están proyectados en el MUSE [37] bajo el parámetro de los escenarios SSP2 otorgados por parte de la investigación del Estudio de la demanda de energía en el sector residencial del Ecuador usando Sistemas Geográficos de Información en un escenario sostenible post COVID-19. Los cuales nos presenta un consumo anual de energía eléctrica del sector residencial como se puede visualizar en la Tabla 10.

Tabla 10. Consumo energetico GWh/al año.

Año	Valor energetico eléctrico GW/h al año
2030	9665
2040	10296
2050	10603
2060	10738
2070	10704
2080	10548
2090	10296
2100	9992

Para el porcentaje mensual se tomó la media del porcentaje de consumo que hubo en todos los meses para el año 2020 como se puede visualizar en la Tabla 11.

Tabla 11. Porcentaje de consumo energético residencial al mes

Año	Rango de porcentaje de demanda para el 2020
Enero	8.72%
Febrero	8.44%
Marzo	8.44%
Abril	9.03%
Mayo	9.08%
Junio	8.81%
Julio	7.97%
Agosto	7.75%
Septiembre	7.79%
Octubre	7.94%
Noviembre	7.82%
Diciembre	8.20%

Por medios de estos porcentajes se procedió a elaborar rasters de las proyecciones de la demanda energética para los años 2030-2040-2050 con una resolución temporal mensual, aplicando ingeniería inversa.

3.2. Resultados del proceso de cálculo de la estimación de demanda energética en el Ecuador

3.2.1. Resultado de demanda energética para los años 2010 al 2020

En la Figura 37 se muestra la demanda total de energía de Ecuador y el crecimiento cada cinco años del 2010 a 2020. La demanda varía anualmente de acuerdo con los parámetros climatológicos y distribución de la población, siguiendo el enfoque de Sachs [7].

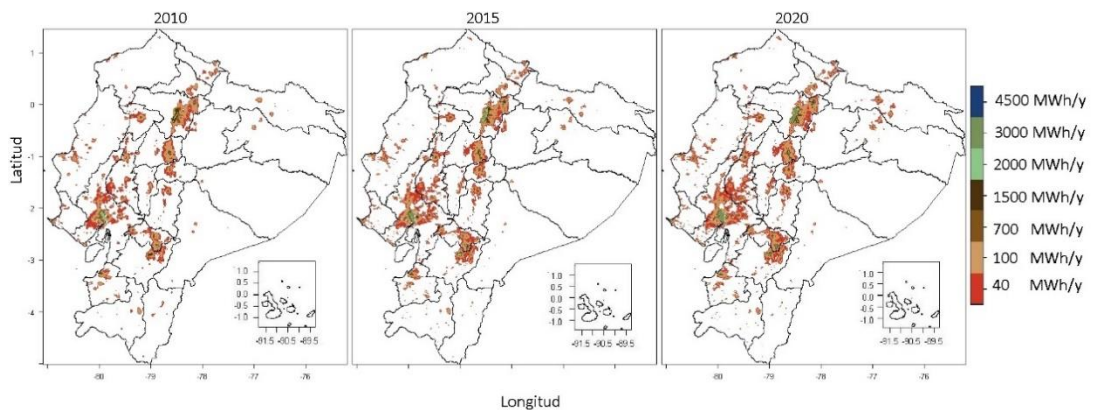


Figura 37. Total de la demanda de energía anual para el sector residencial del Ecuador en 2010, 2015 y 2020.

El estudio mostrado se lo ha realizado con un enfoque nacional, con los datos obtenidos nos permite calcular los datos locales. La distribución temporal de la demanda nos permite obtener e identificar las horas y meses con la mayor tasa de demanda, dando paso a la posibilidad de una planificación de energía de la ciudad con un mayor detalle y eficiencia. Las planificaciones energéticas pueden centrarse en los lugares con la mayor demanda en sus usos finales.

3.2.2. Muestra de resultados para la ventilación de hogares

La Figura 38 nos muestra la comparación trimestral en la demanda de energía de ventilación de hogares en 2010, 2015 y 2020 para la ciudad de Guayaquil durante las horas 10 am a 3 pm. Debemos tener en cuenta que entre enero y junio son los meses con la mayor demanda de ventilación de hogares. En el año 2010 el primer y segundo trimestre muestra una demanda similar, mientras que para el año 2015 el primer

trimestre del año presenta mayor cantidad de demanda. También muestra una similitud en sus tres últimos semestres, se puede ver que para el año 2020 muestra la mayor demanda en su segundo trimestre, si bien los trimestres tercero y cuarto muestran una menor demanda de los dos años con una demanda trimestral similar.

La demanda se concentra principalmente en el área urbana de la ciudad, donde su crecimiento entre estos años se debe al aumento de la densidad poblacional. Sin embargo, a pesar de la ausencia de un aumento significativo en la densidad poblacional de parroquias semiurbanas y rurales, hay más áreas pobladas, en las que también resulta en una mayor demanda.

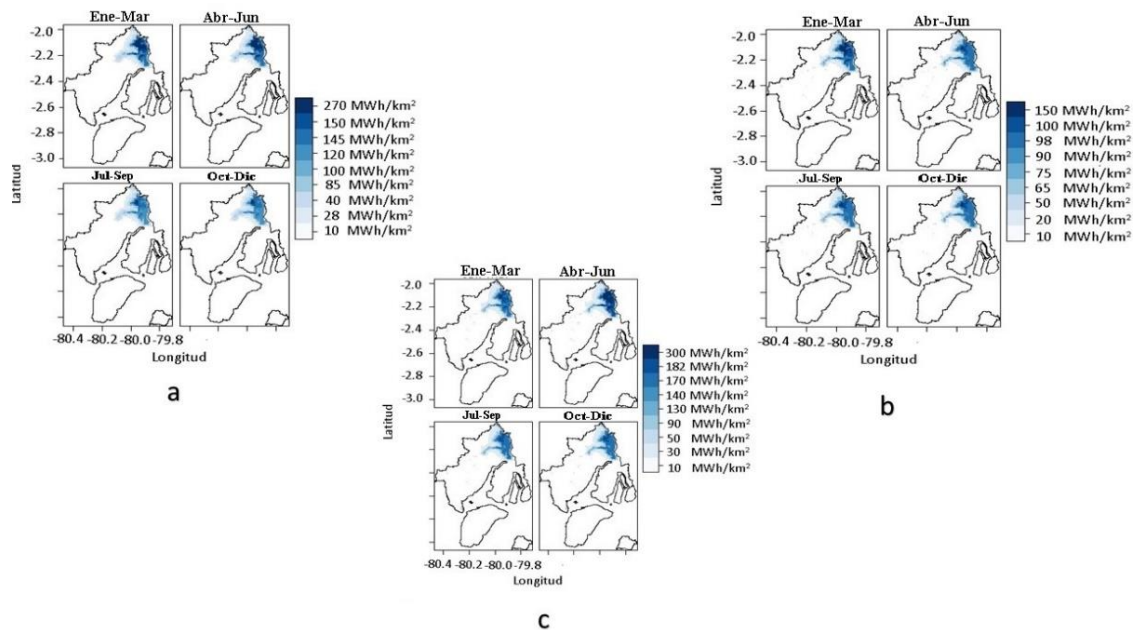


Figura 38. Comparación trimestral de la demanda de energía para ventilación de espacios en 2010 (a), 2015 (b) y 2020 (c) para la ciudad de Guayaquil en determinadas horas del día.

3.2.3. Muestra de resultados para calentamiento de hogares y calentamiento de agua

En la Figura 39 muestra la comparación trimestral de la demanda de energía para calefacción de espacios y calentamiento de agua en 2010, 2015 y 2020 en la ciudad de Quito, en determinadas horas del día, de 5 am a 10 am. En la comparación general, se puede observar una similitud en la distribución de la demanda de energía trimestral entre estos años. Sin embargo, cabe destacar que, en 2020 en la mayoría de las áreas

la demanda de energía es casi el doble del valor de 2010. El primer trimestre de los tres años tiene la mayor demanda, mostrando una clara diferencia con el resto, mientras que se puede observar una similitud en los rangos de valores para el tercer y cuarto trimestre. Además, la Figura 39 muestra que el área ocupada por los habitantes de la ciudad es similar entre los tres años, lo que implica que uno de los principales factores del aumento de la demanda energética en la década está relacionado con el aumento de la densidad poblacional.

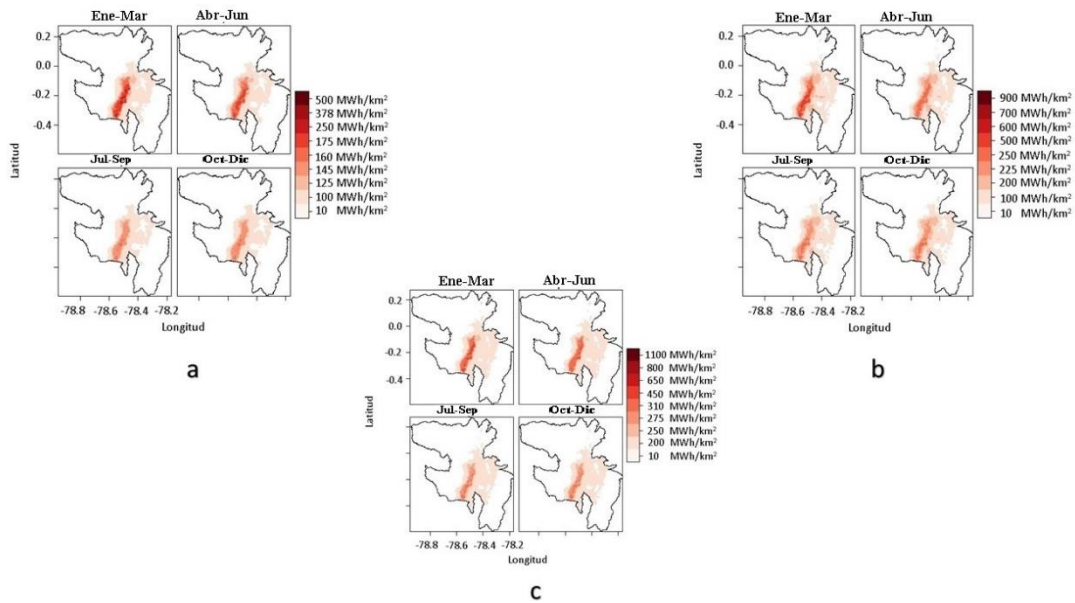


Figura 39. Comparación trimestral de la demanda de energía para calefacción (CH + CA) en Quito para determinadas horas del día.

3.2.4. Representación del uso final de energía anual

La Figura 40 proporciona información sobre la demanda de energía de uso final en Ecuador para 2010, 2015 y 2020. Los cuatro usos finales principales muestran similitudes de crecimiento anual. La calefacción de hogares tiene el porcentaje más alto de demanda, mientras que el calentamiento de agua tiene el porcentaje más bajo de tasa de demanda. Cabe destacar que el Ecuador al ser un país con cuatro regiones que poseen diferentes tipos de clima, fue necesario realizar una separación de datos, especialmente en los datos de calefacción y ventilación de hogares en el sector residencial, para no tener un sobredimensionamiento en la demanda.

DEMANDA DE ENERGIA

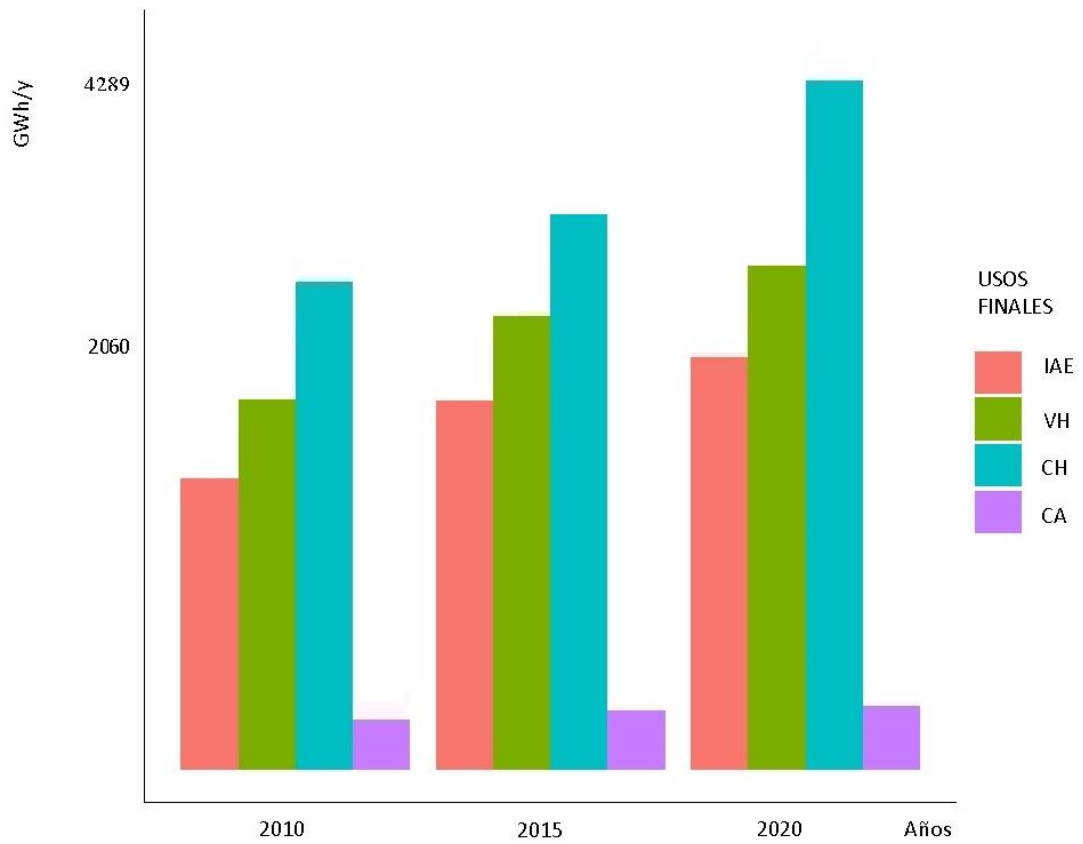


Figura 40. Demanda total de energía para usos finales en el sector residencial de Ecuador en 2010, 2015 y 2020.

3.2.4.1. Clasificación de niveles de Producto interno bruto per cápita

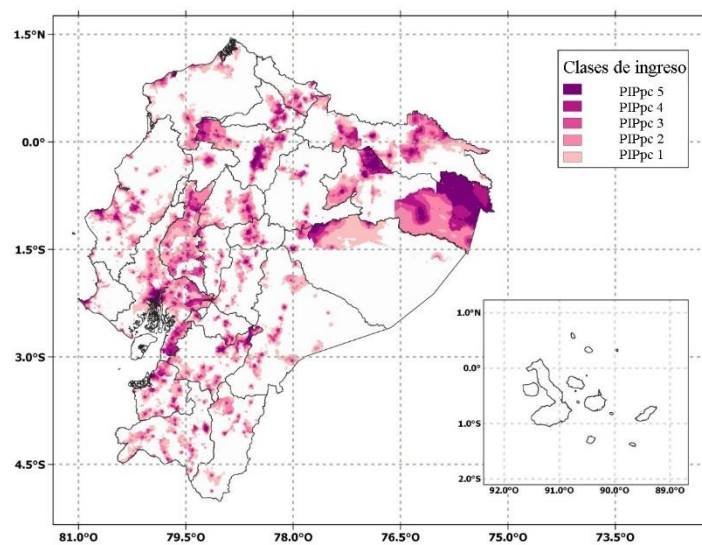


Figura 41. Niveles PIBpc para el Ecuador 2020.

La Figura 41 proveniente de una parte de la investigación del Estudio de la demanda de energía en el sector residencial del Ecuador usando Sistemas Geográficos de Información en un escenario sostenible post COVID-19. En la cual el producto interno bruto per cápita (PIBpc) es un impulsor de demanda de energía. Se estratifica el PIBpc en 5 niveles espaciales basadas en clases socioeconómicas que presentan en su informe el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [38] el cual forma cinco niveles de ingreso:

- PIBpc1: Tiene un salario mensual per cápita menor a 200\$
- PIBpc2: Tiene un salario mensual per cápita (PIBpc) entre 200-500 \$.
- PIBpc3: Tiene un salario mensual per cápita (PIBpc) entre 500-1000 \$.
- PIBpc4: Tiene un salario mensual per cápita (PIBpc) entre 1000-3000 \$.
- PIBpc5: Tiene un ingreso mensual per cápita mayor a 3000 \$.

3.2.5. Perfiles de 24 horas de demanda energética

Estos perfiles de demanda separados trimestralmente por cada año y por cada hora además de la separación de cada uso final de energía.

3.2.5.1. Perfil de 24 horas de demanda energética para el 2010

La Figura 42 demuestra los perfiles de uso final de demanda separado en los cinco niveles de ingreso económico (PIBpc), se puede ver que existe mayor demanda en los meses de abril a junio. Por otro lado, muestra que la demanda para la ventilación de hogares mantiene una tendencia constante en cada nivel, también se puede visualizar que existe menor demanda de energía desde las 11:00 PM a las 06:00 AM en este uso final. Además, podemos ver que existe similitud e en la distribución de demanda entre la primera y quinta división. De igual forma muestra una similitud de la segunda a la cuarta las cuales muestran crecimiento de demanda para ventilación de las horas de la mañana desde 6:00 AM a 6:00 PM.

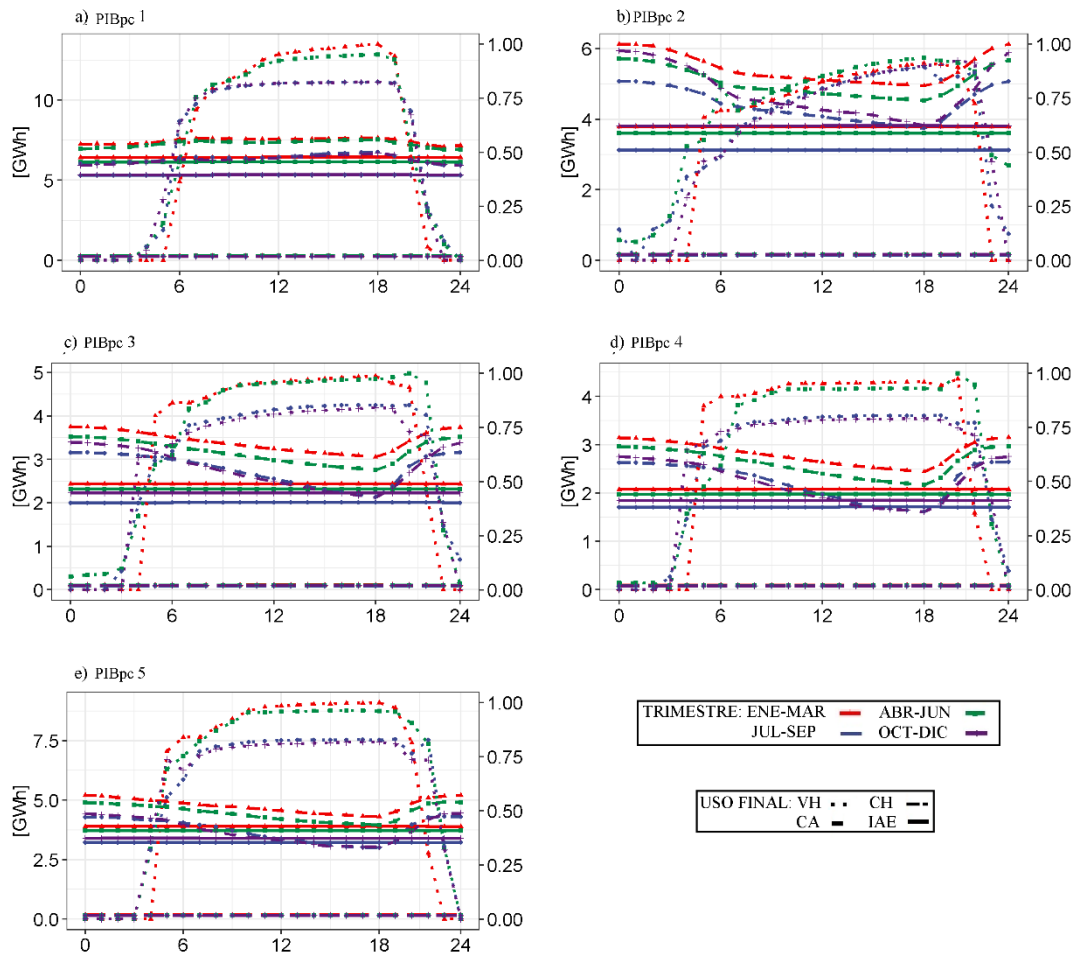


Figura 42. Perfiles de 24 horas demanda energiapara el 2010 separado trimestralmente y por su uso final.

3.2.5.2. Perfil de 24 horas de demanda energética para el 2020

La Figura 43 demuestra los perfiles de uso final de demanda separado en los cinco niveles de ingreso económico, se puede ver que existe mayor demanda en los meses de julio a septiembre. Por otro lado, para la ventilación de hogares muestra una constante de tendencia en cada nivel en las horas del día. También se puede visualizar que existe menor demanda de energía desde las 11:00 PM a las 06:00 AM. Además, podemos ver que existe similitud en la distribución de demanda entre la primera división y la quinta división, mientras el segundo y cuarto nivel tiene similitud en los incrementos de demanda de ventilación en el día. Pero para el calentamiento de hogares existe mayor demanda en las noches desde las 18:00 a las 06:00, y una constante de consumo en el uso de calentamiento de agua e iluminación y aparatos eléctricos.

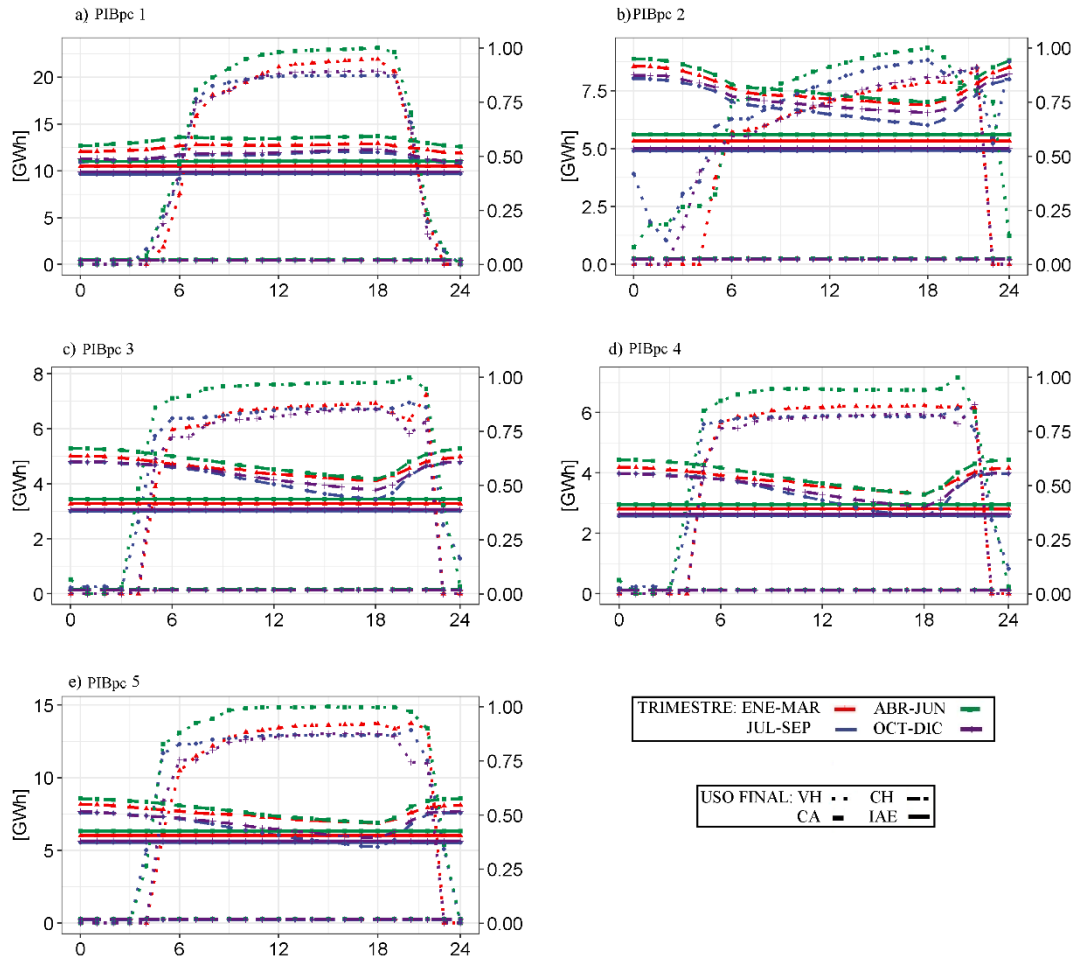


Figura 43. Perfiles de 24 horas demanda energiapara el 2020 separado trimestralmente y por su uso final.

3.3. Resultados de proyecciones para las décadas desde el 2030 al 2050

3.3.1. Resultado de estimación de demanda energética para las décadas del 2030 al 2050

La proyección del total de demanda de energía en el Ecuador es mostrada en la Figura 44, se puede visualizar que las ciudades de mayor demanda en el país para las décadas por venir son Guayaquil y Quito. Siendo Quito la ciudad que muestra posesión en pixeles con valores cercanos a 2500 MWh/y. Mientras que en Guayaquil posee más pixeles con un rango de valor cerca de 900 MWh/y. También muestra que las zonas con mayor consumo son las ubicadas en las cercanías a la región sierra del país. A Nivel anual el valor de demanda para 2030 es de 9.4TWh/y, para 2040 10.21 TWh/y y para 2050 de 10.47 TWh/y

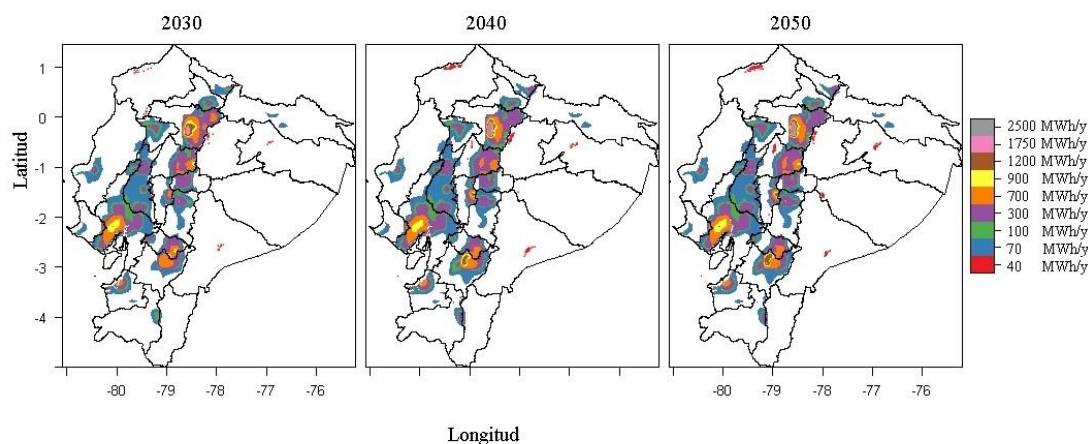


Figura 44. Total de la demanda de energía anual para el sector residencial del Ecuador en 2030, 2040 y 2050.

Por otro lado, la distribución del consumo en el país exceptuando Quito muestra menos diferencia en sus lugares de consumo dando a entender así un grado de diferencias de celdas menor al presentado hasta el 2020, esto se da principalmente por la distribución de la población ya en el 2020 el pixel de población muestra valores cerca de 8000 habitantes mientras que en 2030, 2040 y 2050 se muestra diferente, más distribuida entorno al área y no solo enfocada en un solo sector teniendo valores de 3500 a 4000 habitantes por pixel como se puede visualizar en la Figura 45.

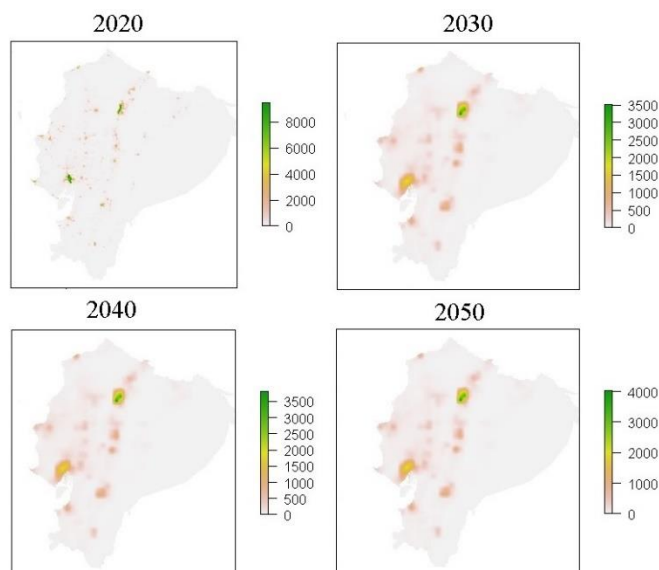


Figura 45. Comparación de la distribución de la población entre 2020, 2030, 2040 y 2050 .

Tabla 12: Porcentaje de demanda por hora de cada mes para el 2020.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Hora 0	2.802%	2.769%	2.769%	2.795%	2.706%	2.847%	3.048%	2.707%	2.815%	2.722%	2.911%	2.698%
Hora 1	2.802%	2.773%	2.773%	2.795%	2.707%	2.849%	2.811%	2.711%	2.820%	2.725%	2.906%	2.692%
Hora 2	2.796%	2.771%	2.771%	2.790%	2.705%	2.847%	2.717%	2.709%	2.817%	2.728%	2.888%	2.677%
Hora 3	2.786%	2.761%	2.761%	2.783%	2.693%	3.433%	2.926%	2.701%	2.804%	2.711%	2.877%	2.863%
Hora 4	2.778%	2.743%	2.743%	2.986%	2.886%	4.432%	4.316%	2.893%	2.998%	2.698%	2.867%	3.915%
Hora 5	2.769%	4.351%	4.351%	4.845%	4.627%	4.218%	3.868%	4.671%	4.796%	4.724%	2.861%	4.394%
Hora 6	4.439%	4.355%	4.355%	4.498%	4.242%	4.518%	4.327%	4.404%	4.530%	4.337%	4.652%	4.412%
Hora 7	4.630%	4.528%	4.528%	4.822%	4.560%	4.744%	4.543%	4.737%	4.858%	4.576%	4.898%	4.607%
Hora 8	4.779%	4.655%	4.655%	4.915%	4.664%	4.774%	4.565%	4.818%	4.962%	4.675%	5.007%	4.678%
Hora 9	4.853%	4.729%	4.729%	5.001%	4.752%	4.788%	4.574%	4.834%	4.985%	4.751%	5.071%	4.719%
Hora 10	4.917%	4.808%	4.808%	5.035%	4.824%	4.799%	4.579%	4.849%	5.007%	4.818%	5.114%	4.743%
Hora 11	4.950%	4.849%	4.849%	5.055%	4.849%	4.813%	4.580%	4.860%	5.022%	4.862%	5.136%	4.764%
Hora 12	4.974%	4.887%	4.887%	1.170%	4.849%	1.101%	4.581%	4.866%	1.162%	4.880%	1.208%	4.781%
Hora 13	4.989%	4.898%	4.898%	5.073%	4.859%	4.809%	4.576%	4.859%	5.040%	4.892%	5.172%	4.792%
Hora 14	4.996%	4.909%	4.909%	5.076%	4.869%	4.805%	4.566%	4.847%	5.033%	4.909%	5.180%	4.802%
Hora 15	4.998%	4.918%	4.918%	5.079%	4.875%	4.802%	4.553%	4.837%	5.027%	4.912%	5.175%	4.810%
Hora 16	5.000%	4.929%	4.929%	5.080%	4.873%	4.793%	4.538%	4.831%	5.015%	4.909%	5.171%	4.817%
Hora 17	5.004%	4.931%	4.931%	5.077%	4.872%	4.791%	4.528%	4.823%	5.002%	4.905%	5.170%	4.823%
Hora 18	5.007%	4.939%	4.939%	5.080%	4.869%	4.789%	4.515%	4.821%	4.993%	4.901%	5.170%	4.823%
Hora 19	4.957%	4.884%	4.884%	5.068%	4.860%	4.806%	4.542%	4.838%	5.020%	4.883%	5.142%	4.781%
Hora 20	4.462%	4.529%	4.529%	4.758%	4.596%	4.739%	4.529%	4.742%	4.831%	4.359%	4.846%	4.492%
Hora 21	4.740%	4.591%	4.591%	4.436%	4.669%	4.133%	4.045%	4.035%	4.850%	4.699%	4.792%	4.553%
Hora 22	2.780%	2.740%	2.740%	2.990%	2.888%	4.522%	4.340%	2.898%	2.802%	2.714%	2.887%	2.675%
Hora 23	2.792%	2.754%	2.754%	2.792%	2.699%	2.844%	3.830%	2.704%	2.809%	2.723%	2.897%	2.686%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Debido a que las medidas temporales climáticas para las proyecciones solo tienen cuatro conjuntos de valores de temperaturas diarias, se realizó una estimación de todas las 24 horas tomando como base el porcentaje de demanda hora por hora mensual para el 2020. Teniendo como resultado los valores de la Tabla 12 con los que se pudo ver similitudes entre las horas existentes con respecto a las horas faltantes. Dándonos así una estimación útil para la resolución anual, permitiendo la elaboración de los rasters faltantes por hora y su suma anual como se puede ver en la Figura 44.

3.3.2. Muestra de resultados para la ventilación de hogares en Guayaquil

La Figura con 46 muestra una comparación de demanda energía para ventilación anual con cuatro medidas de hora por día para cada década desde el 2030 al 2050. Se visualiza que el sector con mayor consumo es la parte central de Guayaquil con un valor de cada píxel de 125 MWh/y, mientras que a sus alrededores la demanda desciende gradualmente teniendo como mínimo de 11 MWh/y. En comparación a la Figura 38 podemos observar la diferencia entre el rango de distribución de píxeles o celdas que tiene la población y su demanda no siendo tan centralizada, sino más bien se dispersa alrededor del territorio de la ciudad.

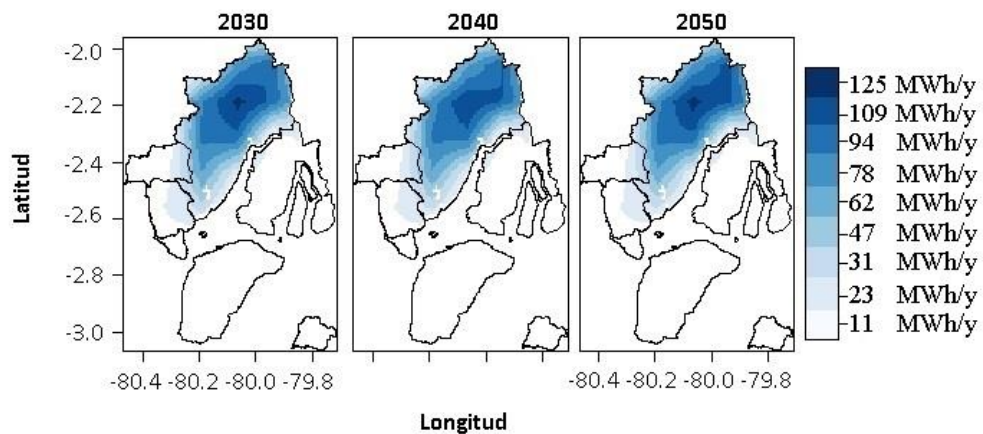


Figura 46. Comparación anual de la demanda de energía para refrigeración de espacios en 2030, 2040 y 2050 para la ciudad de Guayaquil en las horas 0, 6, 12 y 18.

3.3.3. Muestra de resultados para la ventilación de hogares en Quito

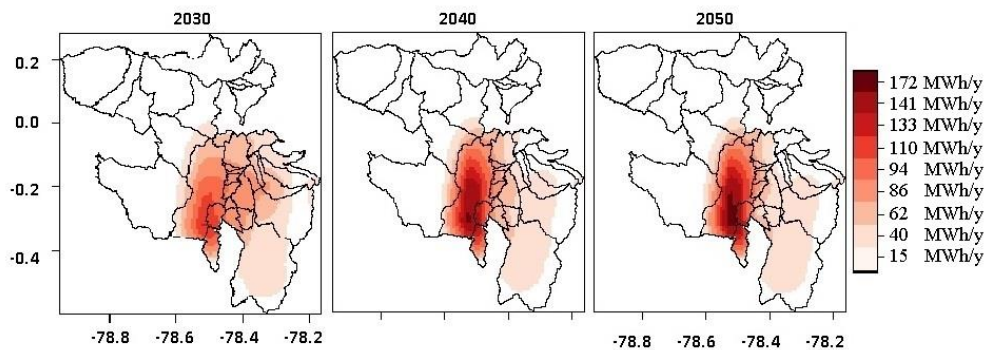


Figura 47. Comparación trimestral de la demanda de energía para calefacción de espacios en 2030, 2040 y 2050 para la ciudad de Quito en las horas del 0, 6, 12 y 18.

Las proyecciones de demanda energética para la ciudad de Quito como se puede visualizar en la Figura 47 en el año 2030 muestra una menor demanda energética teniendo un valor de sus celdas menor a 133 MWh/y, por lo cual da a entender una demanda más estandarizado en el área. Mientras que para los años 2040 y 2050 se puede visualizar una aumento y concentración de demanda de calentamiento con un valor de píxel hasta 172 MWh/y. En la imagen también podemos visualizar que el Distrito Metropolitano tiene un crecimiento con respecto a las zonas rurales y sus alrededores.

3.3.4. Representacion de las proyecciones del uso final de energia anual

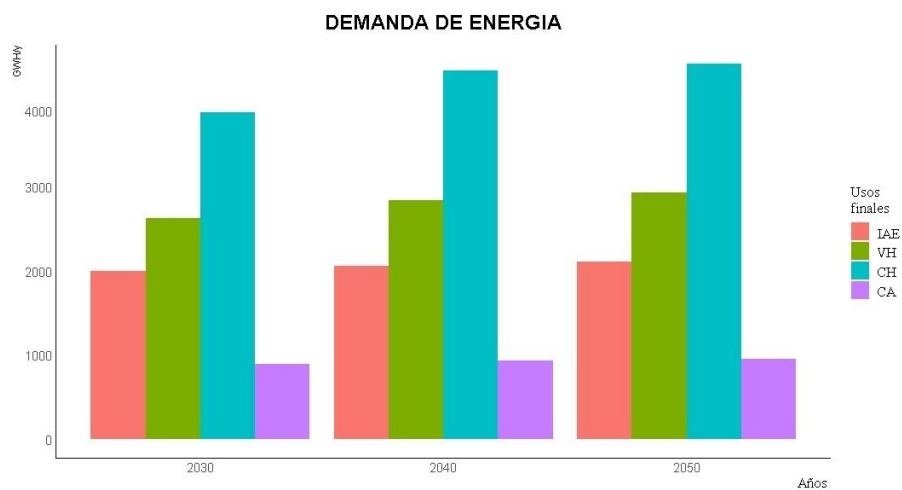


Figura 48. Demanda total de energía para usos finales en el sector residencial de Ecuador en 2030, 2040 y 2050.

Se puede observar mediante la Figura 48 el rango de los usos finales la demanda de energía, teniendo como uso final dominante al calentamiento de hogares mostrando una constancia al compararlo con la Figura 40. Por otra parte, se puede visualizar un aumento en el porcentaje de demanda energética para el calentamiento de agua. Y una constancia en la demanda de energía para la ventilación de hogares y uso de aparatos eléctricos.

3.3.5. Perfiles de demanda de las horas 0, 6, 12 y 18 del 2030-2050

Para los perfiles de demanda en la proyección de años se ha tomado en cuenta solo las horas base, ya que como el resto de las horas surgió por medio de la combinación de uno o varios tipos de ráster trimestralmente. Estos pueden mostrar una tendencia no acorde con las del año 2020 y crear conflictos a los fines de este estudio.

3.3.5.1. Perfil de demanda energética para las horas 0, 6, 12 y 18 por trimestre para el 2030

La Figura 49 muestra que el segundo nivel es el que más demanda genera. Para el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre todos los niveles con picos en las horas 6 y 18, manteniéndose constante un menor consumo a la hora 12. Mientras que en la ventilación de hogares (VH) muestra que existe una pequeña variación de entre sus horas, pero teniendo mayor valor durante el día. Por otra parte, la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) muestra en el primer nivel que sobrepasa al uso final de ventilación de hogares en todas sus horas y una constancia en el resto. Por último, podemos ver que el calentamiento de agua (CA) se mantiene constante en sus porcentajes entre todas las horas.

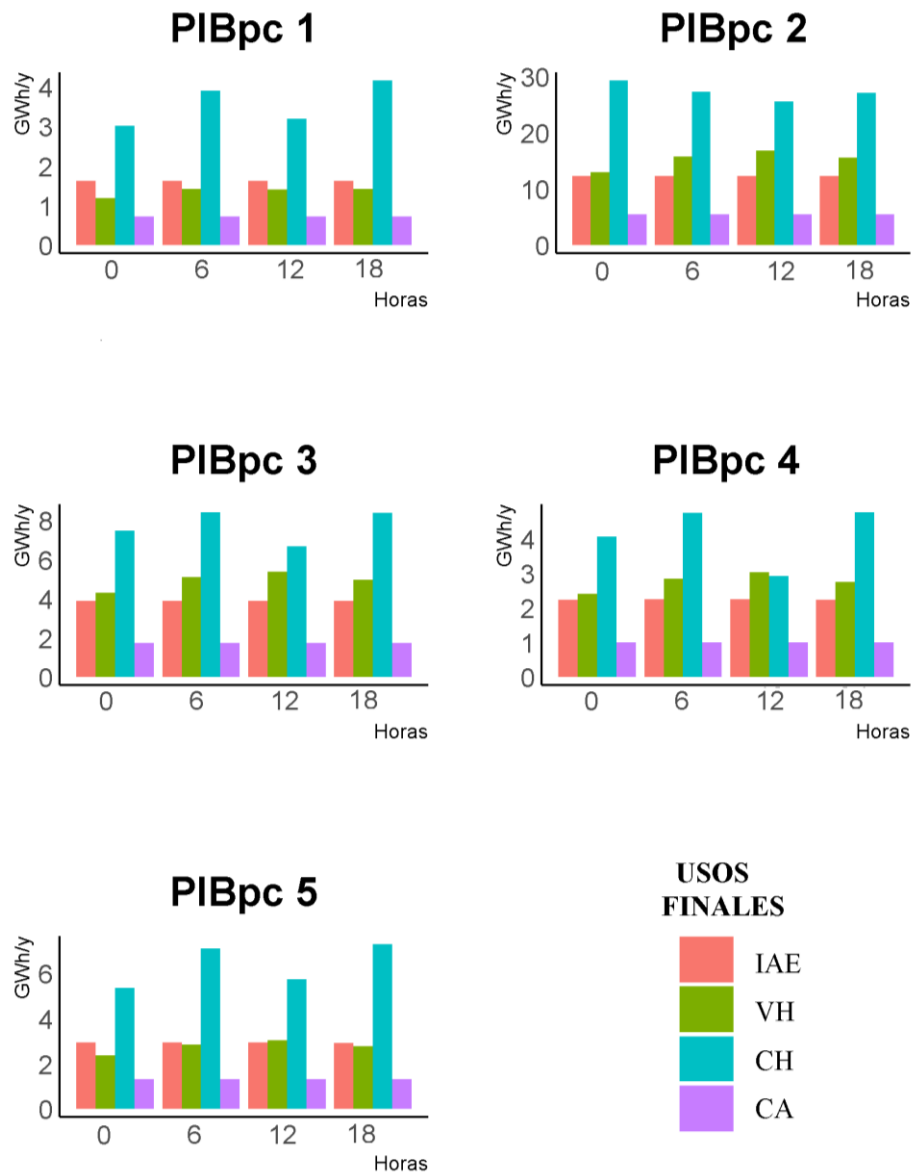


Figura 49. Perfiles de demanda energética del primer trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 50 se muestra una menor demanda en comparación visual al primer trimestre de la Figura 49 en todos los niveles PIBpc además se visualiza que: para el calentamiento de hogares (CH) se mantienen las horas 0 y 12 como las de menor demanda. Mientras que en la ventilación de hogares (VH) se muestra que hay una menor diferencia de demanda con respecto al (CH) en el segundo, tercer y cuarto nivel como se vio en el primer trimestre del año. Por su parte el uso final de la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) muestra una similitud de demanda con el (VH) en el primer

y quinto nivel llegando a superar el porcentaje en ciertas horas. Para el calentamiento de agua (CA) se mantiene similar a la demanda del primer trimestre.

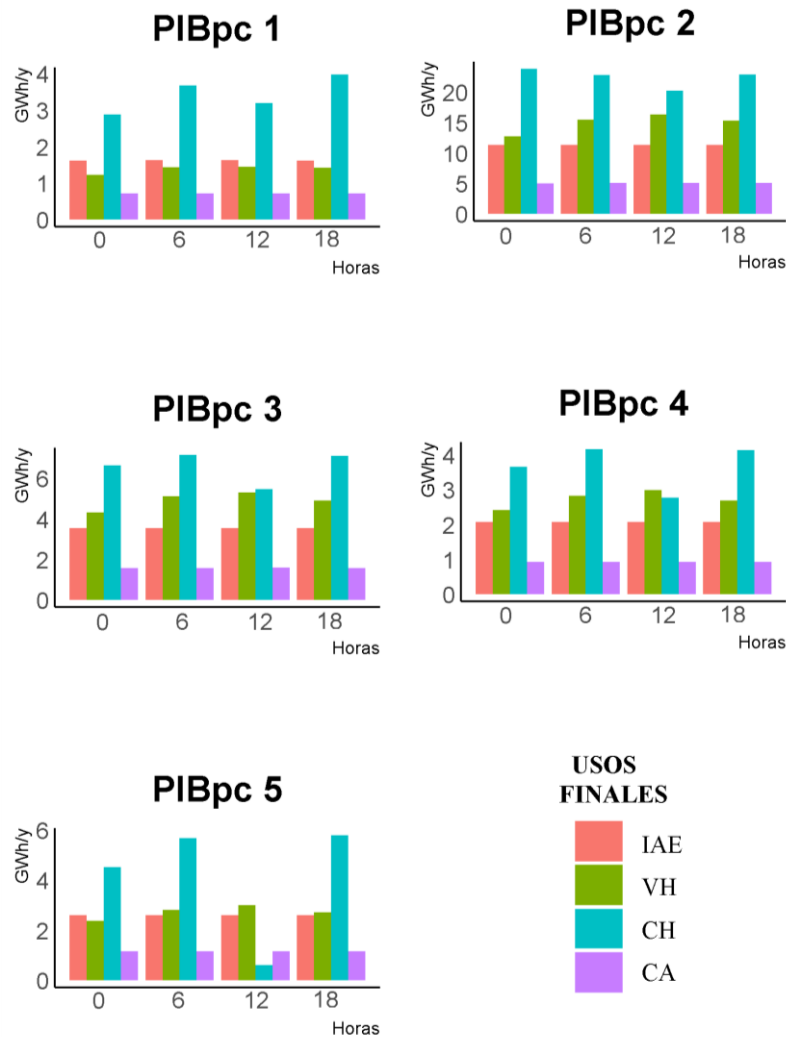


Figura 50. Perfiles de demanda energética del segundo trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 51 se muestra que el tercer trimestre es el de menor demanda anual poniéndose al segundo nivel PIBpc como el mayor del trimestre. Además, se visualiza para los usos finales que: para el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre todos los niveles con picos entre las 6 y 18 horas manteniéndose constante una menor demanda a las 12 horas. Mientras la ventilación de hogares (VH) muestra similitud de distribución en los niveles intermedios como el segundo trimestre. Por parte de la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) se visualiza una similitud de demandas entre horas y niveles.

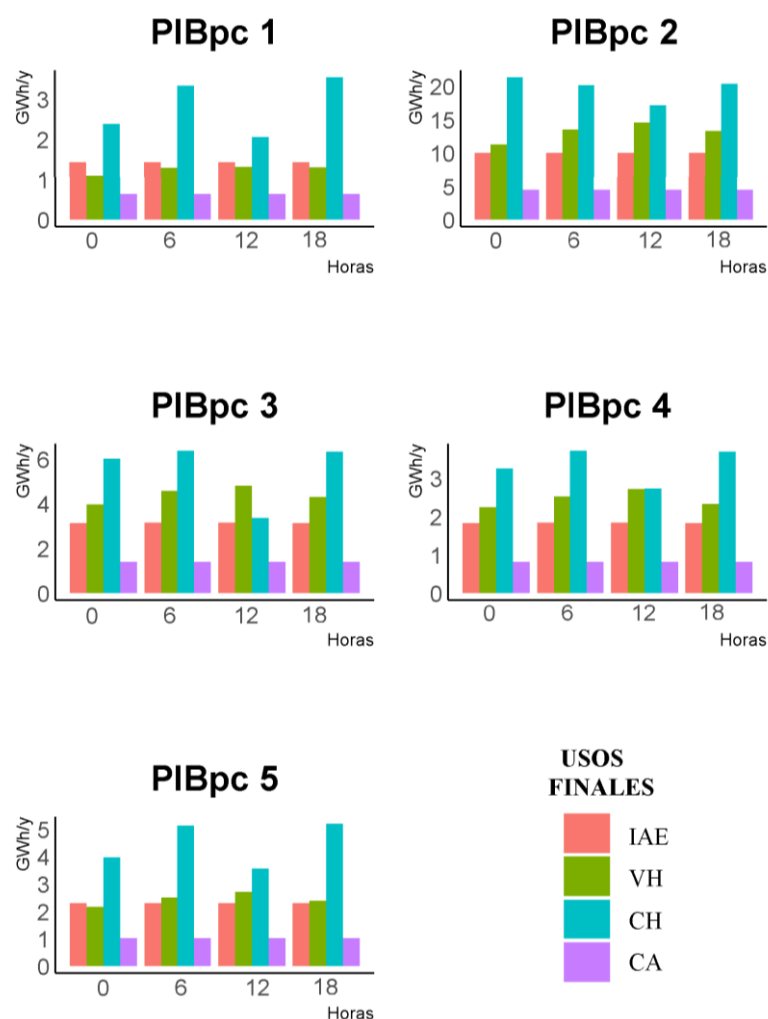


Figura 51. Perfiles de demanda energética del tercer trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la figura 52 se visualiza la demanda energética del cuarto trimestre en divisiones según el nivel PIBpc como el valor mayor de demanda en el segundo nivel. Además, se visualiza para los usos finales que: en el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre todos los niveles con picos entre las 6 y 18 horas manteniéndose con respecto al tercer trimestre del año. Para la ventilación de hogares (VH) muestra similitud de distribución en los niveles intermedios como el segundo trimestre. Mientras que en la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) muestra una similitud de demanda con el (VH) en el primer y quinto nivel similar al primer trimestre del año. Para el calentamiento de agua (CA) se mantiene similar a la demanda del primer trimestre.

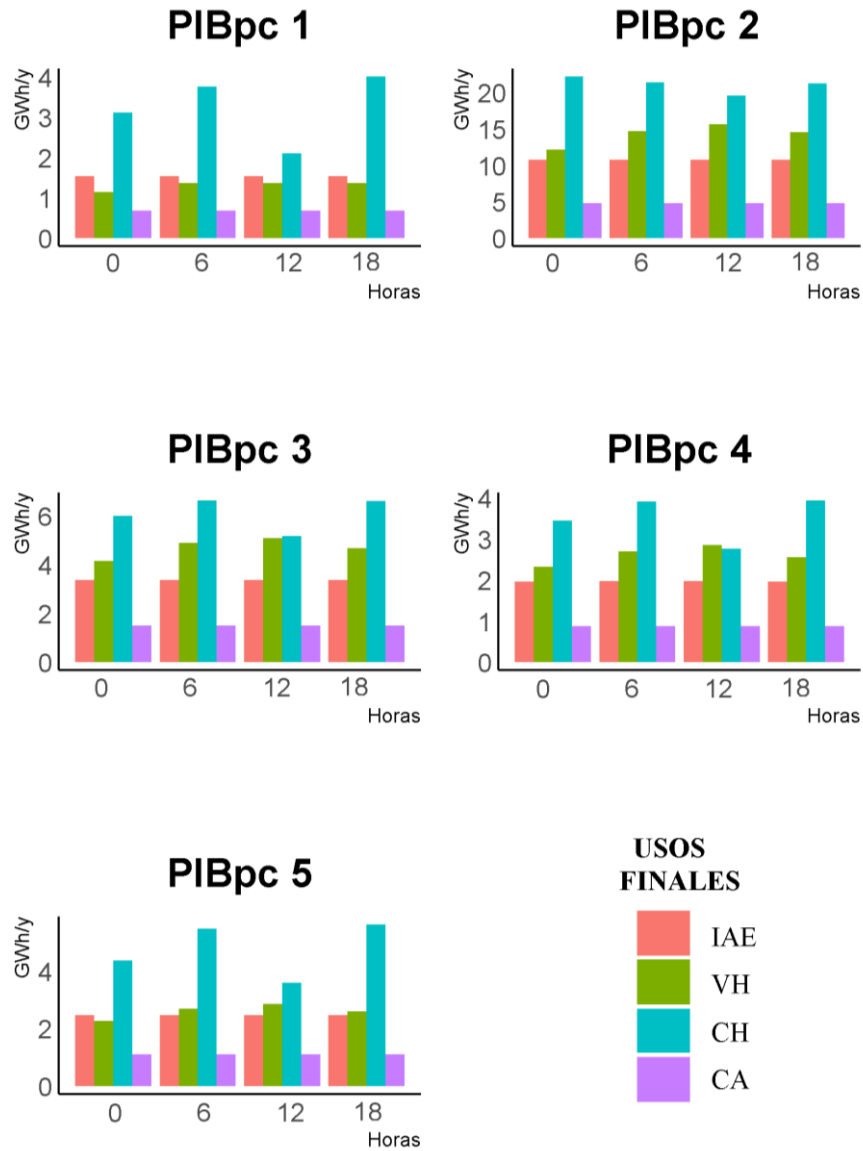


Figura 52. Perfiles de demanda energética del cuarto trimestre del 2030 para las horas 0, 6, 12 y 18.

3.3.5.2. Perfil de demanda energética para las horas 0, 6, 12 y 18 por trimestre para el 2040.

En la Figura 53 se muestra los perfiles del primer semestre 2040 divididos según los cinco niveles del PIBpc. Mostrando un crecimiento notable de 5GWh/y en su segundo nivel en comparación con la década del 2030, además nos permite visualizar puntos importantes en los usos finales de las demandas como: en el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre todos los niveles con picos entre las 6 y 18 horas

manteniéndose constante una menor demanda a las 12 horas especialmente en el quinto nivel.

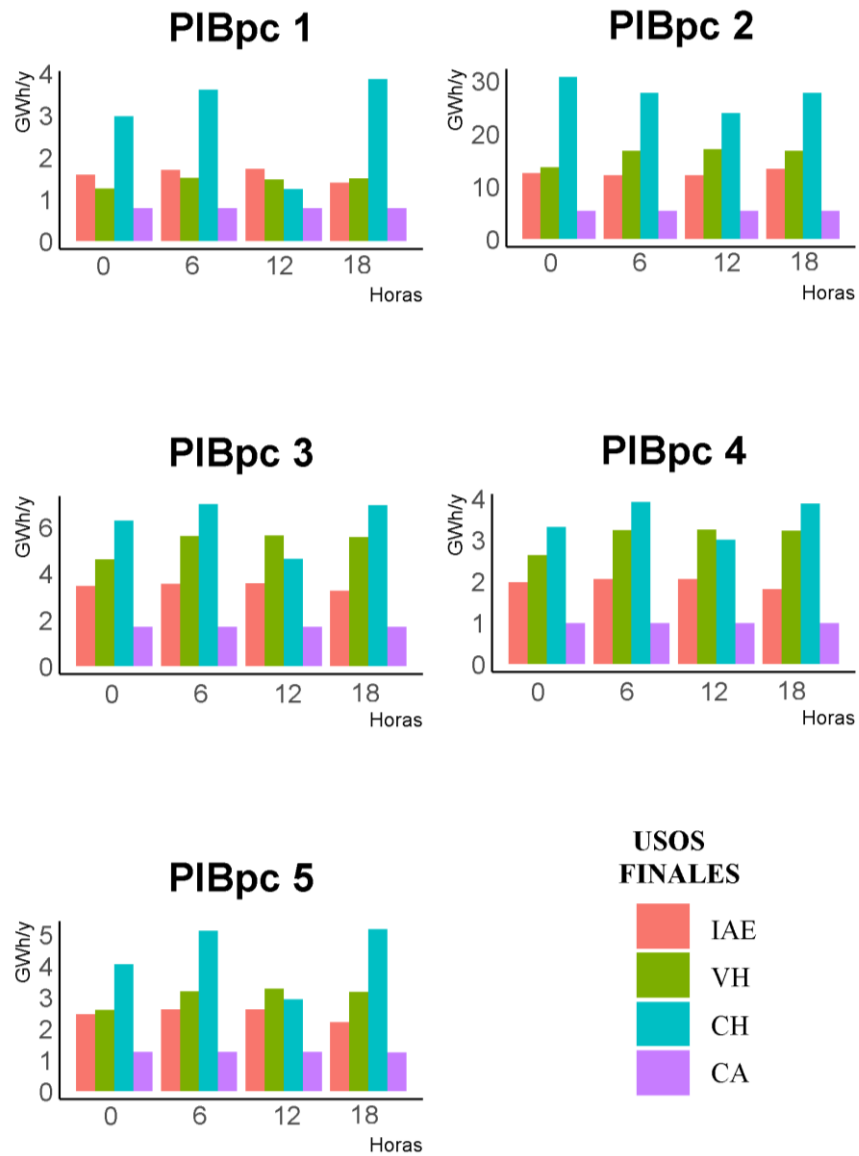


Figura 53. Perfiles de demanda energética del primer trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.

Para la ventilación de hogares (VH) muestra que hay una menor diferencia notable del uso final de demanda en su tercer y cuarto nivel que está cerca de igualar a la demanda de (CH), esto se puede deber principalmente al aumento de temperatura en el perfil costero. En la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) se puede observar que a las 18 horas de todos los niveles se genera una menor demanda y por último podemos ver que para el calentamiento de agua (CA) hay un incremento con respecto al 2030.

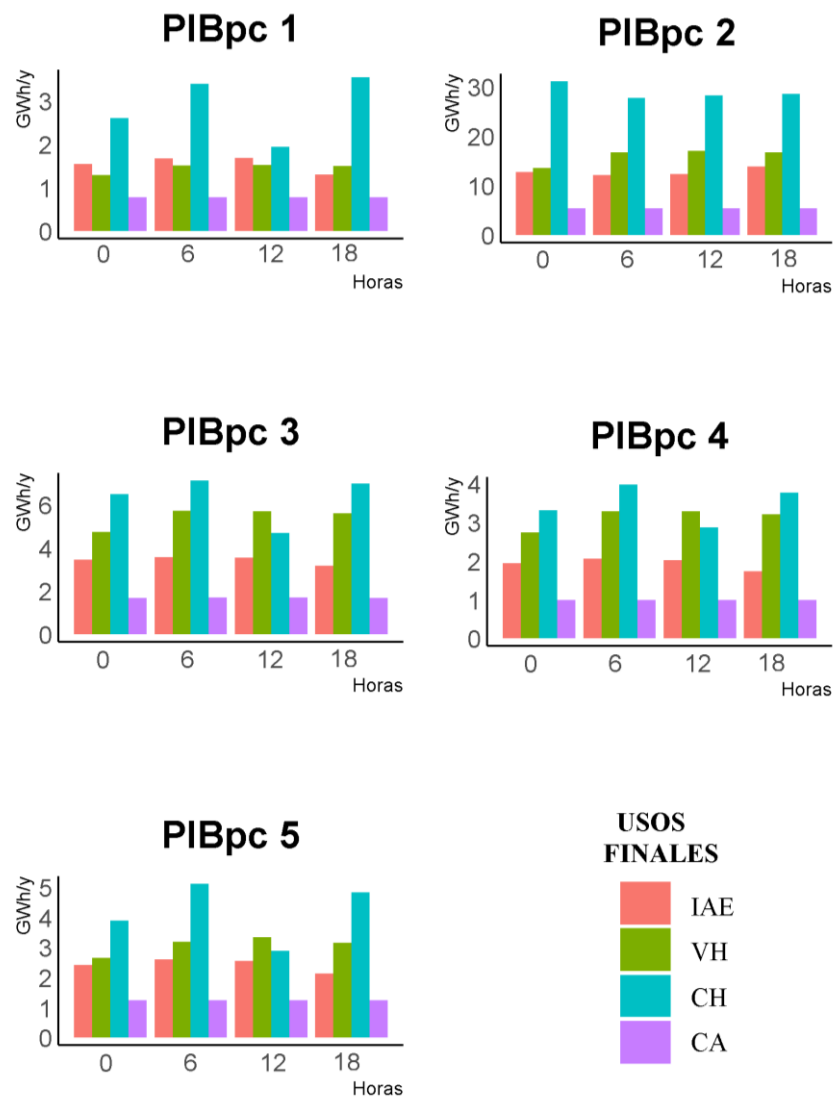


Figura 54. Perfiles de demanda energética del segundo trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 54 se muestra una demanda similar en comparación visual al primer trimestre de año en todos los niveles PIBpc. Además, se visualiza que: para el calentamiento de hogares (CH) las horas 0 y 12 se mantiene como las de menor demanda exceptuando el segundo nivel, ya que para la primera hora existe un pico en la gráfica. En la ventilación de hogares (VH) muestra que la demanda con respecto al primer trimestre es similar al (CH) en el segundo, tercer y cuarto nivel. Mientras en la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) se visualiza una similitud de demanda con el (VH) en el primer nivel.

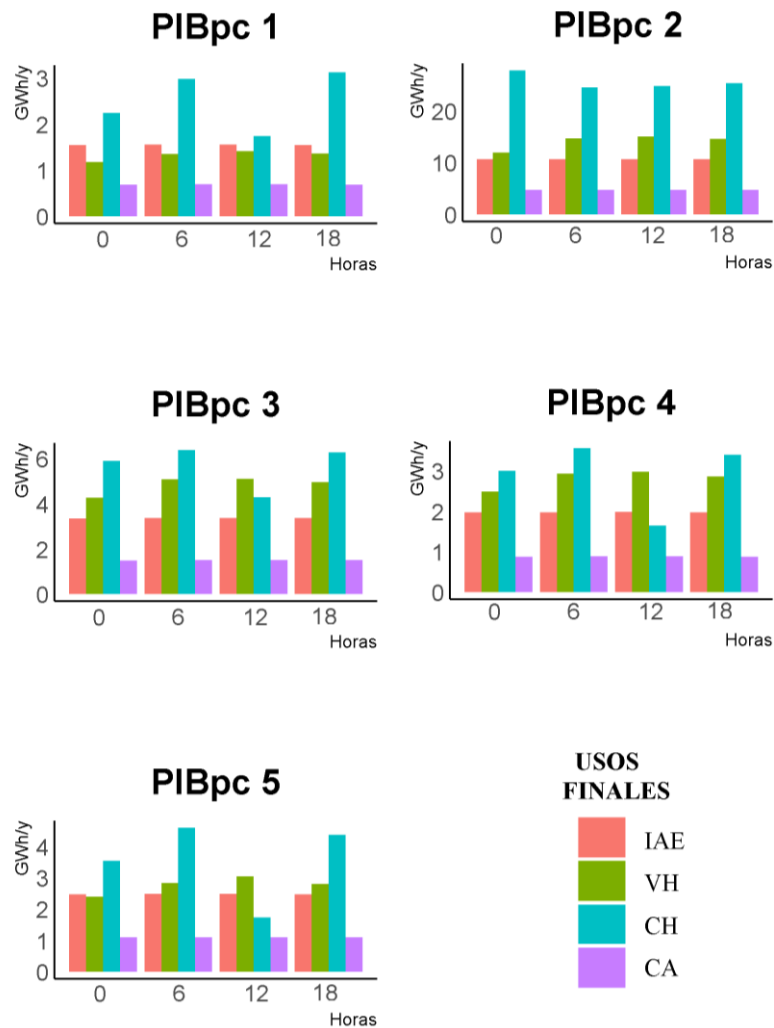


Figura 55. Perfiles de demanda energética del tercer trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 55 se muestra que el tercer trimestre es uno de los trimestres con menor demanda, poniéndose al segundo nivel PIBpc como el mayor del trimestre. Además, se visualiza para los usos finales que: en el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre todos los niveles con picos entre las 6 y 18 horas manteniéndose constante una menor demanda a las 12 horas especialmente en el quinto nivel. Mientras la ventilación de hogares (VH) muestra similitud de distribución en los niveles intermedios como el segundo trimestre. Para la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) se visualiza una similitud de demandas entre horas y niveles.

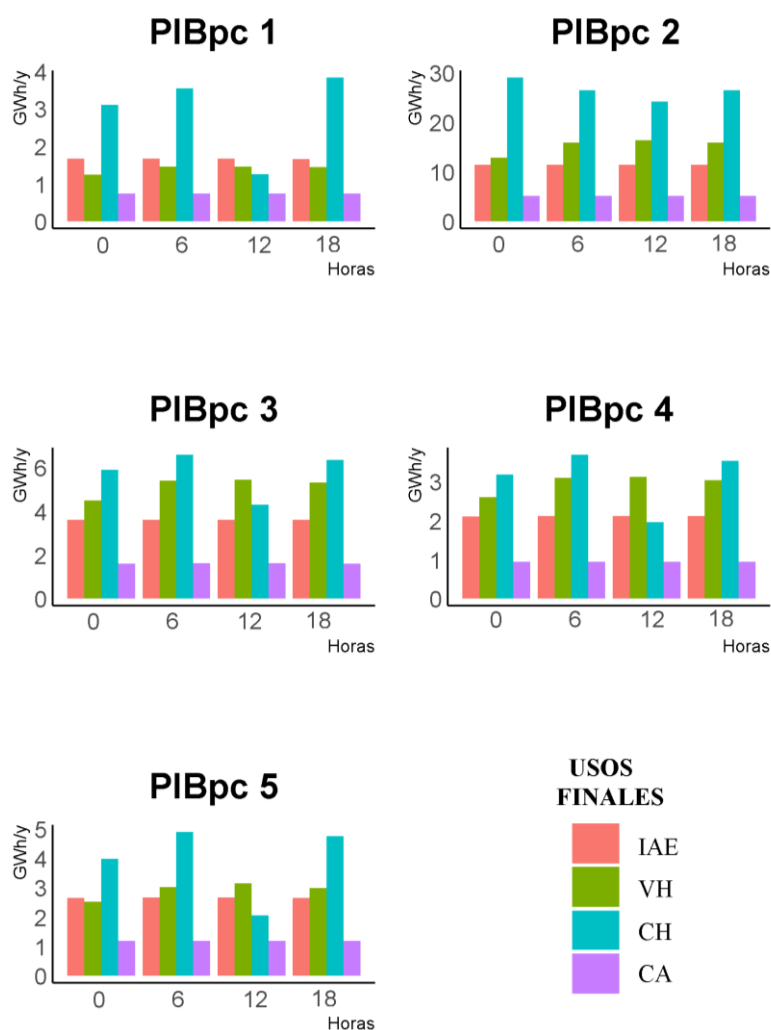


Figura 56. Perfiles de demanda energética del cuarto trimestre del 2040 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 56 se muestra la demanda energética del cuarto trimestre en divisiones según el nivel PIBpc, colocando al segundo nivel como el mayor del trimestre, además de su similitud con respecto al tercer trimestre del 2040. También tenemos que para el primer nivel el calentamiento de hogares (CH) existe la demanda de 1.5 GWh/y. En la ventilación de hogares (VH) muestra poca demanda en el primer nivel, mientras que existe una similitud de distribución en los niveles intermedios como en los trimestres anteriores. Por otro lado, la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) da a conocer que en el primer nivel es ligeramente mayor que la demanda (VH). Para el calentamiento de agua (CA) se mantiene similar a la demanda del primer trimestre con valores cercanos a los 500 MWh/y.

3.3.5.3. Perfil de demanda energética para las horas 0, 6, 12 y 18 por trimestre para el 2050.

En la Figura 57 se muestra los perfiles del primer trimestre del 2050 divididos según los cinco niveles del PIBpc. Mostrando una demanda mayor a los 30 GWh/y en su segundo nivel teniendo una similitud con el año 2040, además nos permite visualizar puntos importantes en los usos finales de las demandas como: en el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre las horas de demanda, pero sobre todo en el segundo nivel la hora 0 es la que más demanda exige. Para la ventilación de hogares (VH) muestra que un incremento notable de demanda en su tercer y cuarto nivel que está cerca de igualar a la demanda de (CH). En la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) se puede observar que en la hora 12 de todos los niveles se genera ligeramente una mayor demanda. Por último, podemos ver que para el calentamiento de agua (CA) hay una similitud de porcentajes de demanda con respecto al primer trimestre del 2040.

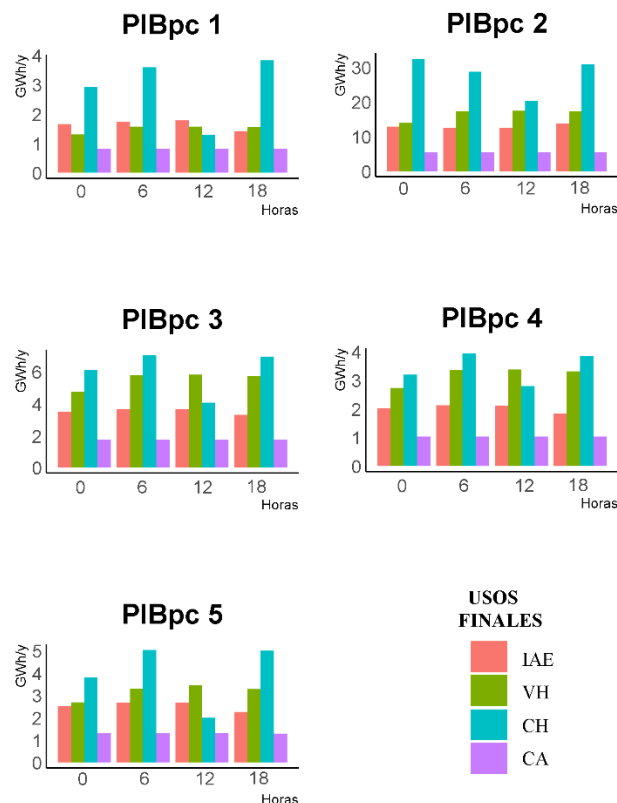


Figura 57. Perfiles de demanda energética del primer trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 58 se muestra los perfiles del segundo trimestre del 2050 divididos según los cinco niveles del PIBpc. Podemos ver una disminución de la demanda general con respecto al primer y cuarto nivel del primer trimestre. Además, podemos observar que: existe mayor similitud entre los usos finales del calentamiento de hogares (CH) y ventilación de hogares (VH) lo cual puede darse principalmente por el aumento de temperatura a nivel nacional. La misma manera para el tercer nivel podemos denotar que el incremento de la demanda para calentamiento de agua (CA) en su segundo y tercer nivel mayor a 1 GWh/y. También podemos ver un ligero incremento de la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) con respecto a los otros trimestres del año.

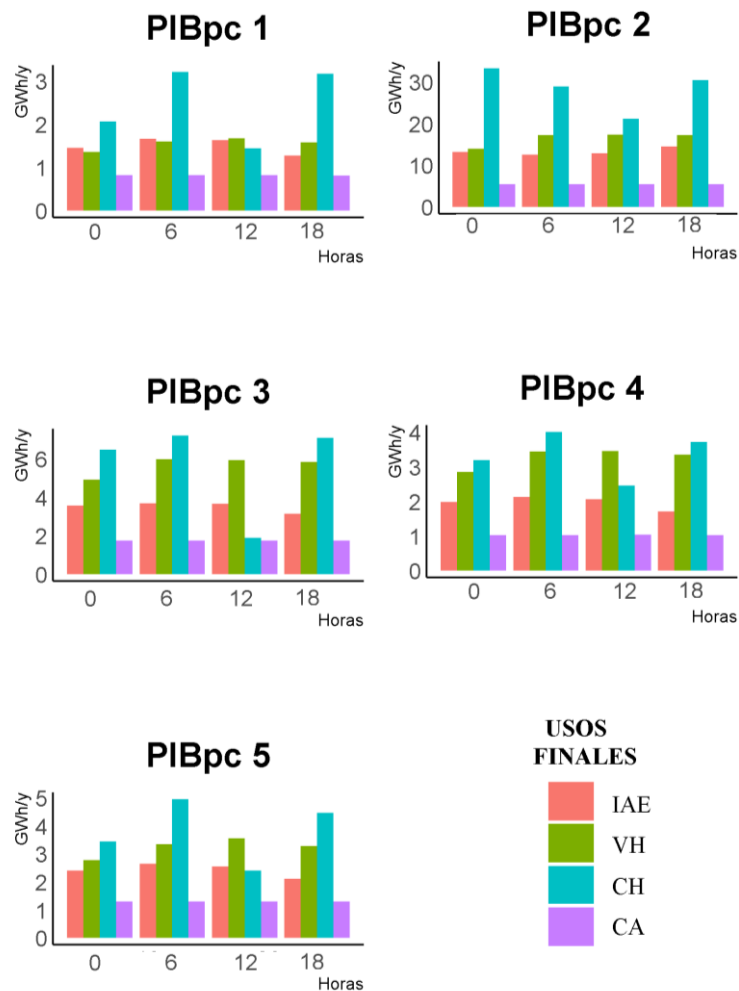


Figura 58. Perfiles de demanda energética del segundo trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 59 se muestra los perfiles del tercer trimestre del 2050, divididos según los cinco niveles del PIBpc. Podemos ver que el valor de la demanda es menor en comparación con los otros trimestres. Además, podemos observar que: existe mayor similitud entre los usos finales del calentamiento de hogares (CH) y ventilación de hogares (VH). De la misma manera para el tercer nivel podemos denotar que el incremento de la demanda para calentamiento de agua (CA) en su segundo y tercer nivel es mayor a 1 GWh/y.

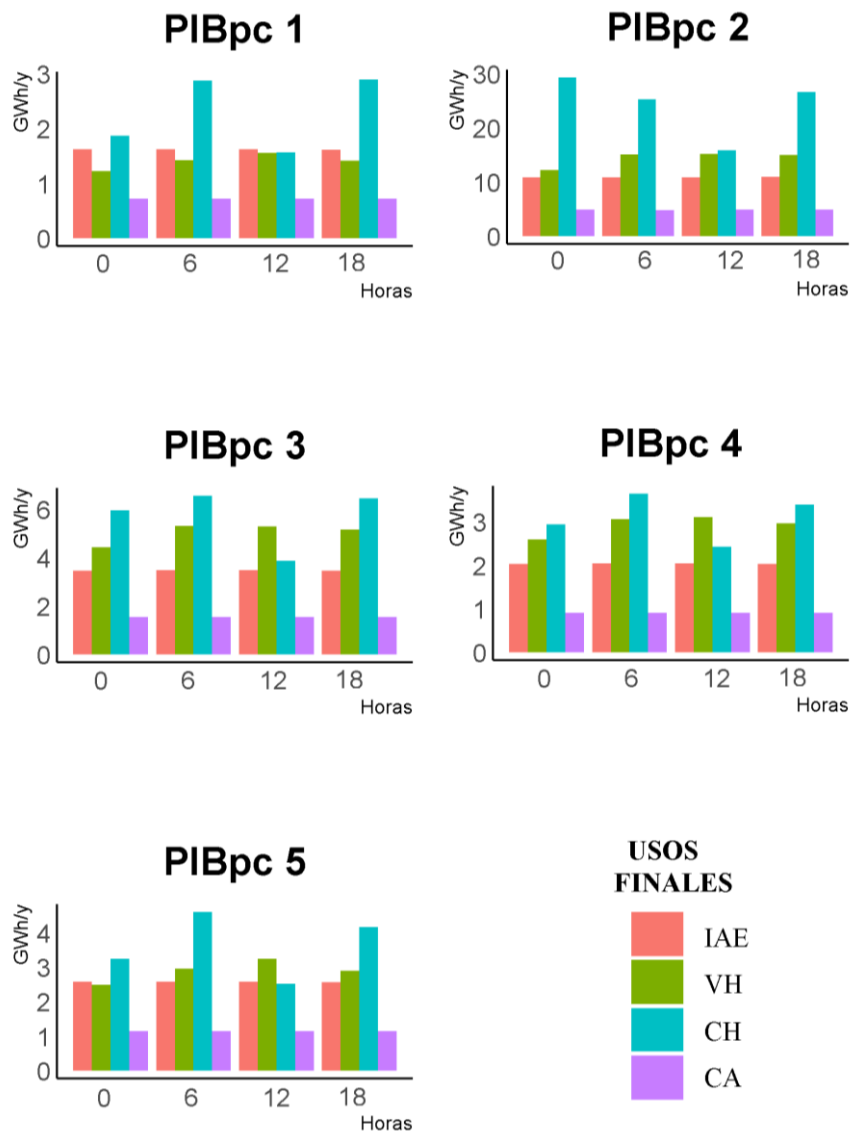


Figura 59. Perfiles de demanda energética del tercer trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.

En la Figura 60 se muestra la demanda energética del cuarto trimestre en divisiones según el nivel PIBpc. Como el mayor del trimestre además se visualiza para los usos finales que: En el calentamiento de hogares (CH) existe una similitud entre todos los niveles con picos de las horas 6 y 18, exceptuando el nivel dos el cual muestra mayor demanda en la hora 0 y manteniéndose constante un menor demanda a la hora 12 de todos los niveles, para la ventilación de hogares (VH) muestra similitud de distribución en los niveles intermedios como el segundo trimestre. Para la iluminación y aparatos eléctricos (IAE) muestra una similitud de demanda con el (VH) en el primer y quinto nivel. Mientras el calentamiento de agua (CA) se mantiene similar a la demanda del primer trimestre del año.

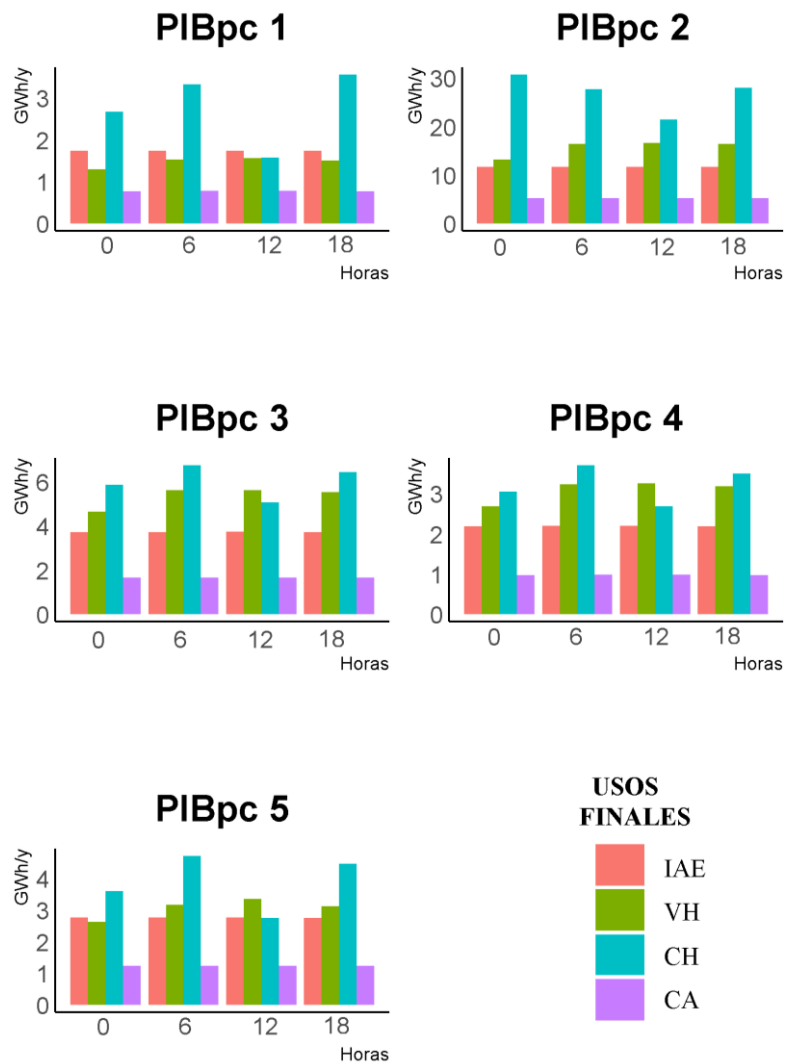


Figura 60. Perfiles de demanda energética del cuarto trimestre del 2050 para las horas 0, 6, 12 y 18.

3.4. Validación de hipótesis

La validación de hipótesis se realizará tomando en cuenta parámetros fundamentales tales como:

- El tipo de la investigación es experimental.
- El comportamiento de los datos es continuo.

Por lo cual ya que la investigación tiene un enfoque metodológico cuantitativo se seleccionó el método de correlación de Pearson [39] de dos colas para su validación.

Como primer paso de la validación planteamos las hipótesis:

H0: La recopilación, calibración y distribución espacial de datos de consumo energético no permitirá el cálculo de demanda de energía eléctrica en el sector residencial del Ecuador, usando Sistemas de Información Geográficos, así como el de Entorno de Simulación de Sistemas Energéticos Modulares.

H1: La recopilación, calibración y distribución espacial de datos de consumo energético permitirá el cálculo de demanda de energía eléctrica en el sector residencial del Ecuador, usando Sistemas de Información Geográficos, así como el de Entorno de Simulación de Sistemas Energéticos Modulares.

En la Tabla 13 nos presenta los datos calculados de la demanda para las provincias del Ecuador en el 2020, además de datos del consumo entregados por el ARCONEL, para poder validar la hipótesis por medio del cálculo del coeficiente de correlación r de Pearson.

Con la Ecuación 20 mostrada en el artículo [38]. Se procedió al cálculo del coeficiente $r_{observado}$ de Pearson:

$$r_{observado} = \frac{N * \sum XY - (\sum X) * (\sum Y)}{\sqrt{[N * \sum X^2 - (\sum X)^2] * [N * \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad \text{Ecuación 20}$$

Tabla 13. Tabla de valores provinciales para validación para 2020

Provincias	X (DEMANDA GWh/y)	Y (CONSUMO GWh/y)	X ²	Y ²	X*Y
Azuay	524	444	274738	196803	232528
Bolivar	129	56	16703	3160	7266
Cañar	97	89	9468	7888	8642
Carchi	133	51	17722	2600	6788
Chimborazo	189	153	35782	23444	28963
Cotopaxi	621	128	385226	16420	79533
El Oro	367	371	134920	137876	136390
Esmeraldas	217	196	47035	38376	42485
Galapagos	20	20	404	392	398
Guayas	2465	2694	6077517	7259010	6642044
Imbabura	130	173	16927	29833	22472
Loja	211	155	44545	24149	32798
Los Rios	522	432	272200	186468	225292
Manabi	467	628	217745	394405	293053
Morona Santiago	59	49	3453	2361	2855
Napo	37	37	1379	1359	1369
Orellana	131	119	17254	14192	15648
Pastaza	28	30	811	921	864
Pichincha	2100	1738	4410861	3020366	3649988
Santa Elena	215	175	46057	30753	37635
Santo Domingo	170	202	28854	40739	34286
Sucumbios	86	73	7434	5315	6286
Tungurahua	173	194	30094	37648	33660
Zamora Chimchipe	32	30	992	922	957
Σ	9124	8237	12098124	11475401	11542202

Reemplazando los valores tenemos que:

$$r_{observado} = \frac{24 * 11542202 - (9124) * (8237)}{\sqrt{[24 * 12098124 - (9124)^2] * [24 * (11475401) - (8237)^2]}}$$

$$r_{observado} = 0.9735$$

Una vez determinado el valor de $r_{observado}$ procedemos a determinar el valor de df de la Ecuación 21.

$$df = N - 2 = 24 - 2 = 22$$

Ecuación 21

Posteriormente determinamos el valor del $r_{critico}$, por medio de los valores de tablas mostradas en la Figura 61 considerando la prueba de dos colas que se toma Con un valor de $\alpha=0.05$

df	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.02$	$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.001$
1	0.9511	0.9877	0.9969	0.9995	0.9999	0.9999
2	0.8000	0.9000	0.9500	0.9800	0.9900	0.9990
3	0.6870	0.8054	0.8783	0.9343	0.9587	0.9911
4	0.6084	0.7293	0.8114	0.8822	0.9172	0.9741
5	0.5509	0.6694	0.7545	0.8329	0.8745	0.9509
6	0.5067	0.6215	0.7067	0.7887	0.8343	0.9249
7	0.4716	0.5822	0.6664	0.7498	0.7977	0.8983
8	0.4428	0.5494	0.6319	0.7155	0.7646	0.8721
9	0.4187	0.5214	0.6021	0.6851	0.7348	0.8470
10	0.3981	0.4973	0.5760	0.6581	0.7079	0.8233
11	0.3802	0.4762	0.5529	0.6339	0.6835	0.8010
12	0.3646	0.4575	0.5324	0.6120	0.6614	0.7800
13	0.3507	0.4409	0.5140	0.5923	0.6411	0.7604
14	0.3383	0.4259	0.4973	0.5742	0.6226	0.7419
15	0.3271	0.4124	0.4821	0.5577	0.6055	0.7247
16	0.3170	0.4000	0.4683	0.5425	0.5897	0.7084
17	0.3077	0.3887	0.4555	0.5285	0.5751	0.6932
18	0.2992	0.3783	0.4438	0.5155	0.5614	0.6788
19	0.2914	0.3687	0.4329	0.5034	0.5487	0.6652
20	0.2841	0.3598	0.4227	0.4921	0.5368	0.6524
21	0.2774	0.3515	0.4132	0.4815	0.5256	0.6402
22	0.2711	0.3438	0.4044	0.4716	0.5151	0.6287

Figura 61. Tablas de valores criticos de coheficiente de correlacion de Pearson [39].

Dando un valor del $r_{critico} = 0.4044$ Considerando de la teoría mostrada en [40] , la cual nos dice.

$$\text{Si: } |r_{observado}| > \text{El valor crítico, Rechace } H_0$$

Como $0.9735 \geq 0.4044$, Se rechaza H_0 por lo tanto en el Ecuador se pudo demostrar que la recopilación, calibración y distribución espacial de datos de consumo energético permitió el cálculo de demanda de energía eléctrica en el sector residencial del Ecuador mediante Sistemas de Información Geográficos, así como el de Entorno de Simulación de Sistemas Energéticos Modulares con el nivel de significancia de 0.05.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

- Se determinó que la institución NASA-MERRA2 cuenta con archivos climatológicos gratuitos, tomados satelitalmente a nivel mundial. Siendo estos archivos los más adecuados, debido a su gran resolución temporal. Mientras que su resolución espacial es baja, pero mediante un proceso de calibración se puede lograr obtener una resolución alta de 1km^2 .
- Los datos poblacionales presentados por el WorldPop son datos internacionales basados en el CIESIN que cuentan con una resolución lo que permite tener una gran distribución de la población a una resolución de 1km^2 . Mismo que se logró validar a nivel nacional y cantonal por medio de la comparación de valores encontrados la institución INEC según el último censo teniendo un porcentaje de error nacional del 3.48%.
- Aunque no se logró encontrar datos de demanda energética a nivel nacional, se pudo estimar la demanda de energía en el sector residencial para los años 2010, 2015 y 2020, por medio de la metodología que combina el consumo histórico que presenta el ARCONEL, la densidad de población y los datos climatológicos. Dándonos valores de demanda para el 2010 de 5.9 TWh/y, para el 2015 de 7.4 TWh/y y para el 2020 de 9.1 TWh/y.
- Mediante la combinación del escenario poblacional SSP2, del escenario climatológico RCP 8.5 de formato CCSM4-WFR y los datos generados del simulador MUSE de investigación del Estudio de la demanda de energía en el sector residencial del Ecuador usando Sistemas Geográficos de Información en un escenario sostenible post COVID-19. Se estimó que la demanda de energía anual para el año del 2030 es de 9.4 TWh/y, en el 2040 es de 10.2 TWh/y por último el año 5050 tendrá una demanda de 10.47 TWh/y mientras que el consumo en estos años es 9.6 TWh/y, 10.29 TWh/y, 10.60TWh/y respectivamente

4.2. Recomendaciones.

- Se recomienda que para la calibración de datos climatológicos se realice un recorte del mar, lagos, reservas y lugares no habitados en todas las capas, esto permitirá reducir el tiempo considerable de cálculo de la demanda.
- Es recomendable revisar las extensión y resoluciones de las diferentes capas de datos espaciales, para no generar inconvenientes al momento de realizar operaciones entre estos archivos.
- Se sugiere realizar estudios de estimaciones de las demandas de energía en el sector industrial, comercial, de transporte y agricultura.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. R, «Climate risks, limits and the need for transformational adaptation. An author's perspective on IPCC's report on Global Warming of 1.5C,» 2018.
- [2] IPCC, «Global Warming of 1.5 °C,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>. [Último acceso: 2021].
- [3] ARCONEL, «Estadística Anual Y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» Quito, 2019.
- [4] H. Gils, F. Cofala y W. Schopp, «GIS-based assessment of the district heating,» *Applied Energy*, vol. 58, pp. 318-329, 2013.
- [5] A. Alhamwi., W. Medjroubi, T. Vogt y C. Ager, «GIS-based urban energy systems models and tools: Introducing a model for the optimisation of flexibilisation technologies in urban areas,» *Applied Energy*, vol. 191, pp. 1-9, 2017.
- [6] IEA, «America central y sur,» 2018.
- [7] J. Sachs, D. Moya, S. G. y A. Hawkes, «Clustered spatially and temporally resolved global heat and cooling energy demand in the residential sector,» *Applied Energy*, vol. 250, pp. 48-62, 2019.
- [8] D. Groppi, L. d. Santoli, F. Cumo y D. A. Garcia, «A GIS-based model to assess buildings energy consumption and usable solar energy potential in urban areas,» 2015.
- [9] V. Olaya, «Sistemas De Información Geográfica,» vol. 2, no. 2, 2014.
- [10] S. Pfenninger, «Opening the black box of energy modelling: Strategies and lessons learned,» *Energy Strateg. Rev.*, vol. 19, pp. 63–71, 2018.
- [11] H. Wickham y G. Grolemond, *R para ciencia de datos*, O'Reilly, 2017.

- [12] P. Michna y M. Woods, «RNetCDF- A package for reading and writing NetCDF datasets,» *R J.*, vol. 5, no. 2, pp. 29–36, 2013.
- [13] M. Gimond, «Raster analysis in R,» Colby Collaage, 2017. [En línea]. Available: <https://mgimond.github.io/megug2017/>.
- [14] A. Roger y B. Rowlingson, «Package ‘ rgdal ’ R topics documented :,” Bind. “Geospatial” Data Abstr,» *Libr. Version*, vol. 1, pp. 1–2, 2020.
- [15] A. Lind y K. Espegren, «The use of energy sistem models for analysing the transition to low-carbon cities -The case of Oslo,» *Energy Strateg*, vol. 15, pp. 44-56, 2017.
- [16] D. Bastidas y P. Medina, «Estimación de la Densidad Poblacional del Ecuador Continental,» *Analítika Rev. Análisis Estadístico*, vol. 1, no. 1, pp. 89–115, 2013.
- [17] D. Vanegas, «Caracterización de datos espacio temporales en sistemas de información geográfica,» p. 88, 2013.
- [18] P. Sánchez, «La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales,» pp. 14– 16., 2012.
- [19] M. Miranda, «La imagen digital,» *Gen*, vol. 63, no. 2, pp. 134–136, 2009.
- [20] J. Ma y J. C. Cheng, «Estimation of the building energy use intensity in the urban scale by integrating GIS and big data technology,» *Appl. Energy*, vol. 183, pp. 182-192, 2016.
- [21] S. Hankin, «Netcdf-cf-opendap: standards for ocean data interoperability and object lessons for community data standards processes,» 2010.
- [22] Nasa merra-2, «GES-DISC».
- [23] C. d. A. y. d. socioeconomicos, «SEDAC,» NASA, 2020. [En línea]. Available: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v4-population-count-rev11>.

- [24] INEC, «INEC -STPE,» 2017. [En línea]. Available: <https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>. [Último acceso: Marzo 2021].
- [25] A. Froemelt, «Modelo para el Análisis de la Demanda de Energía (MAED-2),» O. I. de E. Atómica, 2007.
- [26] J. Sachs, S. Girola y A. Hawkes, «Agent-Based Model for Energy-Related Investment Decisions in the Residential Building Sector,» 36th Ed. Int. Energy Work. (IEW), vol. 2018, no. 30/ 01/, 2017.
- [27] A. Mastrucci, O. Baume, F. Stazi y U. Leopold, «Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: A GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam,» *Energy Build.*, vol. 75, pp. 358–367, 2014.
- [28] M. Muggenburg y I. Pérez, «Tipos de estudio en el enfoque de investigación cuantitativa,» *ENEO*, vol. 4, n° 1, pp. 35-38, 2007.
- [29] D. Bienvenido, C. Rubio, D. Marín y J. Canivella, «Influence of the Representative Concentration Pathways (RCP) scenarios on the bioclimatic design strategies of the built environment,» *Sustainable Cities and Society*, vol. 72, 2021.
- [30] J. Rivadeneira, Y. Zambrano y M. Pérez, «Adapting water resources systems to climate change in tropical areas: Ecuadorian coast,» *Science of total environment*, vol. 703, 2020.
- [31] O. Chimborazo y M. Vuille, «Present-day climate and projected future temperature and precipitation changes in Ecuador,» *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 143, pp. 1581-1597.
- [32] WorldPop, «Investigacion y datos demográficos espaciales abiertos,» University Of Southampton, 2021. [En línea]. Available: <https://www.worldpop.org/>. [Último acceso: 2021].

- [33] H. Mitter, «Shared Socio-economic Pathways for European agriculture and food systems: The Eur-Agri-SSPs,» *Global Environmental Change*, vol. 65, 2020.
- [34] H. Wang, N. Li, W. Chen y J. Shi, «Analysis on building sector's energy consumption and mitigation potential under SSP2,» *Energy Procedia*, vol. 142, pp. 2435-2440, 2021.
- [35] J. Zhao, B. d. Su, S. Mondal, Y. Wang, H. Tao y T. Jiang, «Population exposure to precipitation extremes in the Indus River Basin at 1.5 °C, 2.0 °C and 3.0 °C warming levels,» *Advances in Climate Change Research*, vol. 12, pp. 199-209, 2021.
- [36] ARCONEL, «SIS-DAT,» [En línea]. Available: <http://reportes.controlrecursosyenergia.gob.ec/?fbclid=IwAR3MolegAA5bHayQVb7HXQaYjlc81lMMMoZ-zC7xWkxmR1q4SQBH1UbN1Z4>.
- [37] MUSE, «MUSE,» Imperial College London and Sustentable gas Institute, [En línea]. Available: <https://www.museenergysimulator.co.uk/>.
- [38] INEC, «Instituto Nacional de Estadística y Censo,» , [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-estratificacion-del-nivel-socioeconomico/>.
- [39] J. Hernández, J. Castro, M. Peñaloza y J. Rodríguez, «Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones,» *revistaavft*, vol. 37, nº 5, pp. 587-595, 2018.
- [40] L. Weathington y C. J. Cunningham, *Understanding Business Research*, 2012.

ANEXOS

Anexo 1: Perfiles de demanda para Quito

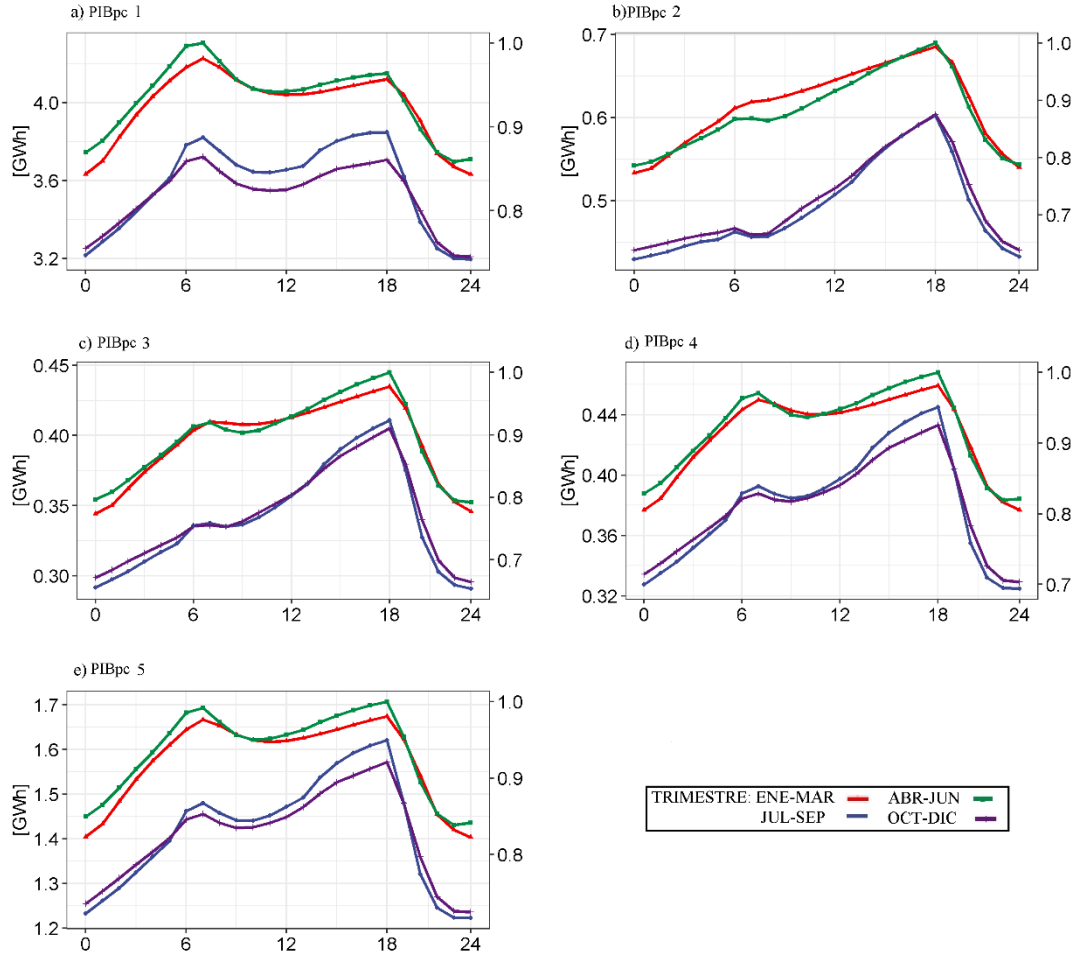


Figura 62. Perfiles de 24 horas de calentamiento de hogares para Quito

En la Figura 62 se puede observar un consumo similar entre la 2da y 5ta banda, teniendo como horas de mayor demanda después las 6 de la mañana hasta las 6 de la noche. También se puede ver que la primera banda es la que demuestra mayor demanda energética. Además, se puede ver que los meses de abril a septiembre son los que predominan en el consumo energético en la ciudad y una constante de menor demanda entre octubre y marzo.

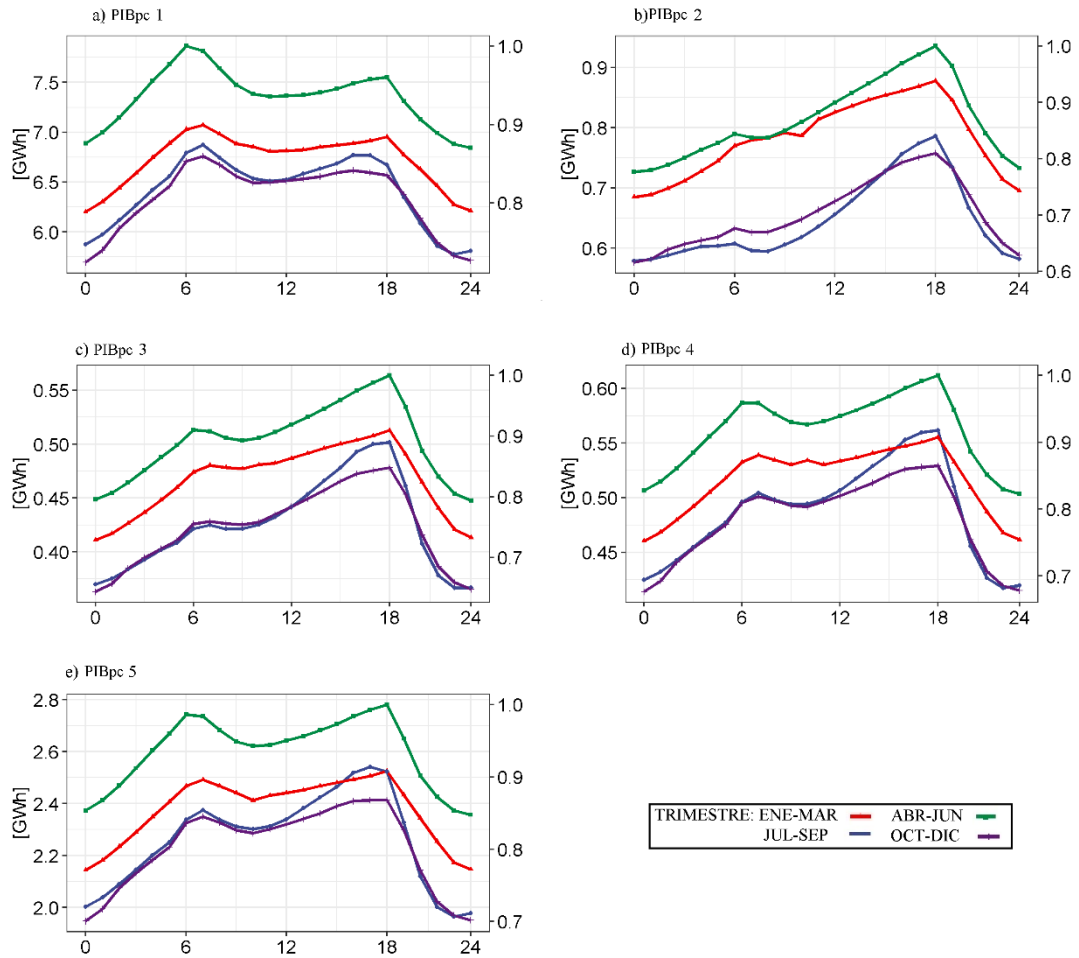


Figura 63. Perfiles de 24 horas de calentamiento de hogares para Quito 2020.

En la Figura 63 se puede observar un consumo similar entre la 2da y 5ta banda, teniendo como horas de mayor demanda después las 6 de la mañana hasta las 6 de la Tarde. También se puede ver que la primera banda es la que demuestra mayor demanda energética. Además, se puede ver que los meses de julio a septiembre son los que predominan en el consumo energético en la ciudad y una constante de menor demanda entre octubre y marzo.

Anexo 2: Perfiles de demanda de ventilación de hogares de 24 horas para Guayaquil

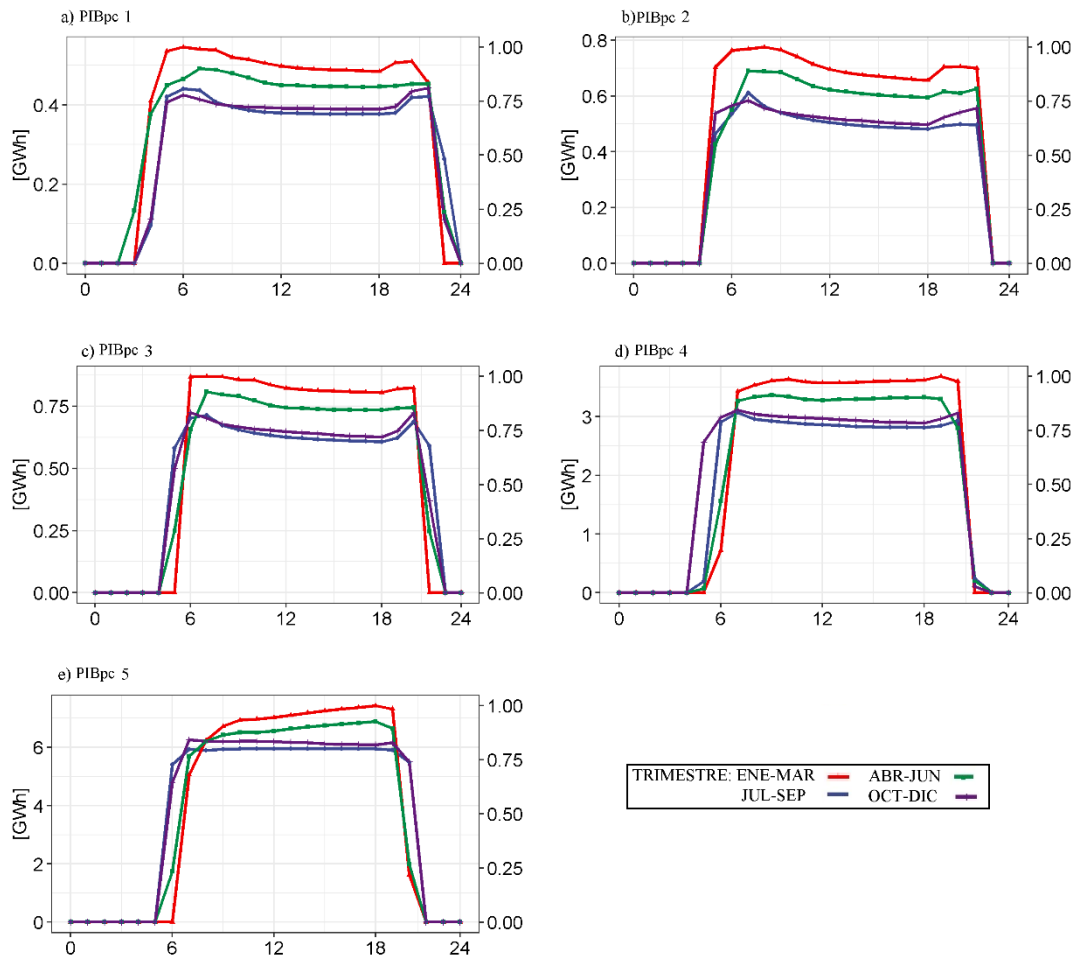


Figura 64. Perfiles de 24 horas de ventilacion de hogares para Guayaquil 2010

En la Figura 64 muestra que los dos primeros niveles obtienen dos picos de demanda energética cerca de la 5:00 y 18:00 horas y una reducción de consumo entre las horas intermedias esto puede deberse al cambio de temperatura generado en esas horas, además cabe recalcar que existe la constata de bajo consumo energetico entre las 22:00 y 5:00. Es interesante mencionar que el sector cinco tiene una demanda muy similar entre las horas del día además de ser el sector que requiere mayor demanda. En la gráfica se puede observar que todos los niveles tienen similar consumo en todos los trimestres del año.

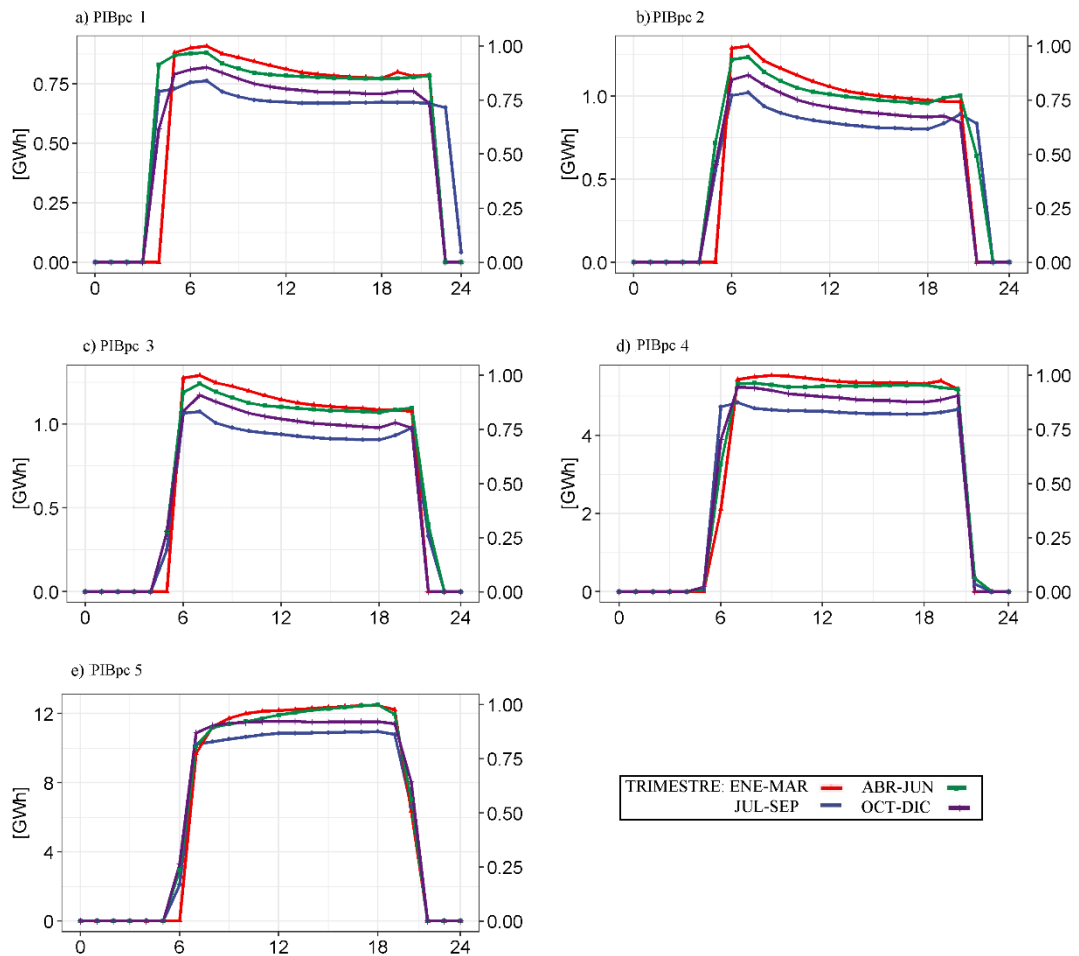


Figura 65. Perfiles de 24 horas de ventilacion de hogares para Guayaquil 2020.

En la Figura 65 muestra que los dos primeros niveles obtienen dos picos de demanda energética cerca de la 5:00 y 18:00 horas y una reducción de consumo entre las horas intermedias esto puede deberse al cambio de temperatura generado en esas horas, además cabe recalcar que existe la constata de bajo consumo energetico entre las 22:00 y 5:00. Es interesante mencionar que el sector cinco tiene una demanda muy similar entre las horas del día además de ser el sector que requiere mayor demanda. En la gráfica se puede observar que todos los niveles tienen similar consumo en todos los trimestres del año y su distribución es tan similar con la de la figura 56.

Anexo 3: Programación en R-Studio

En la Figura 66 y Figura 67 podemos ver los códigos utilizados para el cálculo de la estimación de la demanda

```
#HORAS DE CALEFACION HORA 1
horach[15<=horach]=NA
horach<-horach
horach<-15-horach
horach<-stack(horach)
sumach<-sum(horach)
sumach<-stack(sumach)
ICH<-overlay(sumach,Poblasemitotal, fun=function(x,y){return(x*y)} )
sumICH<-cellStats(ICH, stat = "sum")
NICH<-ICH/sumICH
DECH<-overlay(NICH,ECH, fun=function(x,y){return(x*y)} );DECH[is.na(DECH)]=0;DECH<-mask(DECH,poblacion)
DDECH<-overlay(DECH,area, fun=function(x,y){return(x/y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/CH/DECH")
writeRaster(DECH,filename = "ECU_2010_04_01_CH",format="GTiff",overwrite=TRUE) #AÑO, MES, HORA, USO DE ENERGIA
setwd("D:/datosecuador/resultados/CH/DDECH")
writeRaster(DDECH,filename = "ECU_2010_04_01_DCH",format="GTiff",overwrite=TRUE) #AÑO, MES HORA, DENSIDAD DE

#HORAS DE ENFRIAMIENTO HORA 1
horavh[horavh<=18]=NA
horavh<-horavh
horavh<-horavh-18
horavh<-stack(horavh)
sumavh<-sum(horavh)
IVH<-overlay(sumavh,Poblasemitotal, fun=function(x,y){return(x*y)} )
sumaIVH<-cellStats(IVH, stat = "sum")
NIVH<-IVH/sumaIVH
DEVH<-overlay(NIVH,EVH, fun=function(x,y){return(x*y)} );DEVH[is.na(DEVH)]=0;DEVH<-mask(DEVH,poblacion)
DDEVH<-overlay(DEVH,area, fun=function(x,y){return(x/y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/VH/DEVH")
writeRaster(DEVH,filename = "ECU_2010_04_01_VH",format="GTiff",overwrite=TRUE)
setwd("D:/datosecuador/resultados/VH/DDEVH")
writeRaster(DDEVH,filename = "ECU_2010_04_01_DVH",format="GTiff",overwrite=TRUE)

#HORAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA HORA 1
horaca<-(15.04-(0.125*horaca))
horaca<-stack(horaca)
sumaca<-sum(horaca)
ICA<-overlay(sumaca,poblacion, fun=function(x,y){return(x*y)} )
sumaICA<-cellStats(ICA, stat = "sum")
NICA<-ICA/sumaICA
DECA<-overlay(NICA,ECA, fun=function(x,y){return(x*y)} );DECA[is.na(DECA)]=0;DECA<-mask(DECA,poblacion)
DDECA<-overlay(DECA,area, fun=function(x,y){return(x/y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/CA/DECA")
writeRaster(DECA,filename = "ECU_2010_04_01_CA",format="GTiff",overwrite=TRUE)
setwd("D:/datosecuador/resultados/CA/DDECA")
writeRaster(DDECA,filename = "ECU_2010_04_01_DCA",format="GTiff",overwrite=TRUE)

#HORAS DE ILUMINACION Y APARATOS ELECTRICOS HORA 1
NIIAE<-NICA
DEIAE<-overlay(NIIAE,EIAE, fun=function(x,y){return(x*y)} );DEIAE[is.na(DEIAE)]=0;DEIAE<-mask(DEIAE,poblacion)
DDEIAE<-overlay(DEIAE,area, fun=function(x,y){return(x/y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/IAE/DEIAE")
writeRaster(DEIAE,filename = "ECU_2010_04_01_IAE",format="GTiff",overwrite=TRUE)
setwd("D:/datosecuador/resultados/IAE/DDEIAE")
writeRaster(DDEIAE,filename = "ECU_2010_04_01_DIAE",format="GTiff",overwrite=TRUE)
```

Figura 66. Programación de calculos para los años 2010-2020.

```

#HORAS DE CALEFACI3N HORAS 1-6
hor aCH[15<=hor aCH]=NA
hor aCH<-hor aCH
hor aCH<-stack (hor aCH)
hor aCH<-15-hor aCH
hor aCH[is.na(hor aCH)]=0
sumaCH<-sum(hor aCH)
ICH<-overlay(sumaCH,Poblasemitotal, fun=function(x,y){return(x*y)} )
sumICH<-cellStats(ICH, stat = "sum")
NICH<-ICH/sumICH
DECH<-overlay(NICH,ECH, fun=function(x,y){return(x*y)} )
DDECH<-overlay(DECH,area, fun=function(x,y){return(x*y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/CH/DECH")
writeRaster(DECH,filename = "ECU_2030_01_00_CH",format="Gtiff",overwrite=TRUE) #AÑO, MES, HORA, USO DE ENERGIA
setwd("D:/datosecuador/resultados/CH/DDECH")
writeRaster(DDECH,filename = "ECU_2030_01_00_DCH",format="Gtiff",overwrite=TRUE) #AÑO, MES HORA, DENSIDAD DE
#HORAS DE ENFRIAMIENTO HORAS 1-6
hor aVH[hor aVH<=18]=NA
hor aVH<-hor aVH
hor aVH<-hor aVH-18
hor aVH<-stack (hor aVH)
hor aVH[is.na(hor aVH)]=0
sumaVH<-sum(hor aVH)
IVH<-overlay(sumaVH,Poblasemitotal, fun=function(x,y){return(x*y)} )
sumaIVH<-cellStats(IVH, stat = "sum")
NIVH<-IVH/sumaIVH
DEVH<-overlay(NIVH,EVH, fun=function(x,y){return(x*y)} )
DDEVH<-overlay(DEVH,area, fun=function(x,y){return(x*y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/VH/DEVH")
writeRaster(DEVH,filename = "ECU_2030_01_00_VH",format="Gtiff",overwrite=TRUE)
setwd("D:/datosecuador/resultados/VH/DDEVH")
writeRaster(DDEVH,filename = "ECU_2030_01_00_DVH",format="Gtiff",overwrite=TRUE)
#HORAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA HORAS 1-6
hor aCA<-(15.04-(0.125*hor aCA))
hor aCA<-stack (hor aCA)
sumaCA<-sum(hor aCA)
ICA<-overlay(sumaCA,poblacion, fun=function(x,y){return(x*y)} )
sumaICA<-cellStats(ICA, stat = "sum")
NICA<-ICA/sumaICA
DECA<-overlay(NICA,ECA, fun=function(x,y){return(x*y)} )
DDECA<-overlay(DECA,area, fun=function(x,y){return(x*y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/CA/DECA")
writeRaster(DECA,filename = "ECU_2030_01_00_CA",format="Gtiff",overwrite=TRUE)
setwd("D:/datosecuador/resultados/CA/DDECA")
writeRaster(DDECA,filename = "ECU_2030_01_00_DCA",format="Gtiff",overwrite=TRUE)
#HORAS DE ILUMINACION Y APARATOS ELECTRICOS HORAS 1-6
NIIAE<-NICA
DEIAE<-overlay(NIIAE,EIAE, fun=function(x,y){return(x*y)} )
DDEIAE<-overlay(DEIAE,area, fun=function(x,y){return(x*y)} )
setwd("D:/datosecuador/resultados/IAE/DEIAE")
writeRaster(DEIAE,filename = "ECU_2030_01_00_IAE",format="Gtiff",overwrite=TRUE)
setwd("D:/datosecuador/resultados/IAE/DDEIAE")
writeRaster(DDEIAE,filename = "ECU_2030_01_00_DIAE",format="Gtiff",overwrite=TRUE)
#total de la demanda de energia y densidad de demanda de energia HORAS 1-6

```

Figura 67. Programaci3n de calculos para los a3os 2030-2050