

Grado en Estadística

Título: Indicadores sintéticos de sostenibilidad de ciudades españolas

Autor: Zihan Zhu

Director: Ramon Alemany

Departamento:
Departamento de Econometría, Estadística y Economía Aplicada

Convocatoria:07/2024

:



Resumen y palabras clave

A partir de una revisión detallada de los antecedentes de la investigación y de la situación actual, este artículo se nutre del sistema de evaluación del Grupo de Investigación sobre Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y propone un sistema de evaluación de las capacidades de desarrollo sostenible de las ciudades españolas. El artículo analiza y simplifica indicadores clave y enriquece la teoría y los métodos de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible. A través de la recopilación y organización de datos, se utilizó el software R para realizar análisis de componentes principales para análisis empíricos. Finalmente, se realizan cálculos económicos, sociales y ambientales a través del modelo DEA para determinar el valor final de las capacidades de desarrollo sostenible de las ciudades españolas, clasificando y haciendo recomendaciones.

Based on a detailed review of the research background and current status, this paper draws on the evaluation system of the United Nations Sustainable Development Research Group and proposes an evaluation system for the sustainable development capacity of Spanish cities. The article screens and simplifies key indicators and enriches the theory and method of sustainable development capacity evaluation. Through data collection and collation, the principal component analysis is performed using R software for empirical analysis. Finally, the DEA model is used to calculate the economy, society and environment to determine the final value of the sustainable development capacity of Spanish cities, so as to rank and make recommendations.

Palabras clave:

Indicadores de sostenibilidad

DEA

Evaluación de capacidad

Análisis de componentes principales

MSC:

01-02 - Research exposition (monographs, survey articles)

62H25 - Factor analysis and principal components; correspondence analysis:

90C05 - Linear programming:

91B76 - Environmental economics; sustainability:

Índice

| | |
|---|-----------|
| I.Introducción | 4 |
| 1.Antecedentes de la investigación | 4 |
| 2.Objetivo: | 5 |
| 3.Agradecimientos | 5 |
| II. Revisión de la literatura | 6 |
| III. Metodología principal | 14 |
| 1. Análisis de Componentes Principales (ACP) | 14 |
| Primera Categoría: Basada en la Elaboración de una Escala Aditiva | 15 |
| Segunda Categoría: Basada en los Valores de Componentes Principales Seleccionadas | 16 |
| 1: Obtener el Indicador Compuesto de la Primera Componente Principal | 16 |
| 2: Definir el Indicador Compuesto mediante la Agregación de Todas las Componentes Principales Seleccionadas | 16 |
| 2. Método de la Huella Ecológica | 18 |
| Definición y Cálculo de la Huella Ecológica | 18 |
| 3.Método de Análisis de Jerarquía | 20 |
| 4.Método de Análisis Envolvente de Datos | 21 |
| IV.Métodos de construcción y evaluación del sistema de índices | 25 |
| 1.Construcción de un sistema regional de índices de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible | 25 |
| 2. El proceso de construcción del sistema de indicadores | 26 |
| 3 Seleccionar indicadores de evaluación | 29 |
| V.Fuente y procesamiento de datos | 33 |
| VI.Evaluación de la sostenibilidad de las ciudades españolas | 40 |
| 1.Proceso de cálculo | 40 |
| VII.Conclusión | 42 |
| VIII.Recomendaciones para el desarrollo sostenible en España | 45 |
| IX.Limitaciones y aspectos a mejorar | 46 |

I.Introducción

1.Antecedentes de la investigación

Desde la década de 1960, con el rápido desarrollo de la tecnología, la productividad social ha mejorado significativamente y la humanidad ha creado una riqueza sin precedentes. Sin embargo, esto también ha traído una serie de problemas sociales, económicos, ecológicos, de recursos y ambientales. En todo el mundo, han ocurrido eventos graves que han dañado el medio ambiente, afectando negativamente el desarrollo sostenible de la sociedad humana y amenazando seriamente el futuro de la humanidad. Al reflexionar sobre los métodos tradicionales de producción y vida, la humanidad ha desarrollado una nueva visión del desarrollo: el desarrollo sostenible.

Desde la entrada en la era moderna, la economía de España ha mantenido un notable crecimiento, con una rápida industrialización y urbanización. Sin embargo, problemas como el crecimiento de la población, la contaminación ambiental, el desequilibrio ecológico y la escasez de recursos han planteado serios desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades. El problema del desarrollo sostenible urbano no solo es estático, sino también un problema de cambios dinámicos complejos. Desde el punto de vista del desarrollo económico, el desarrollo sostenible de las ciudades en España debe basarse en el uso mínimo de recursos, mejorando la eficiencia económica urbana y manteniendo un desarrollo económico estable. En concreto, se trata de centrar el proceso de producción en la planificación razonable del gobierno, logrando una distribución equilibrada de actividades urbanas como la industria, la agricultura y el transporte, para así lograr una estructura y función coordinadas del sistema urbano. Por lo tanto, es urgente investigar a fondo los problemas relacionados con el desarrollo sostenible urbano y explorar caminos efectivos para resolver las contradicciones y problemas que enfrenta el desarrollo sostenible urbano en España.

Basado en la revisión del contexto y el estado actual de la investigación sobre la importancia del tema, y tomando como referencia el sistema de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible regional propuesto por el Grupo de Investigación de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, este artículo ha construido un sistema de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible urbano, tras una selección y simplificación de indicadores. Enriqueciendo así la teoría del sistema de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible y sus métodos, este artículo tiene como objetivo llevar a cabo una evaluación sistemática de la capacidad de desarrollo sostenible de las ciudades españolas y clasificarlas.

2.Objetivo:

Primero, sobre la base de determinar el sistema de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible urbano, este trabajo comenzó a recopilar y organizar los datos de los indicadores requeridos para el sistema de evaluación. En segundo lugar, se llevó a cabo un análisis empírico de las capacidades de desarrollo sostenible de las ciudades españolas, incluyendo la estandarización de datos, el análisis de componentes principales utilizando el software R y la evaluación basada en la información de componentes principales obtenida. Determine los indicadores clave para evaluar el desarrollo sostenible, introdúzcalos en el modelo DEA para su cálculo, determine el valor final de las capacidades de desarrollo sostenible de la ciudad y dibuje los cuadros estadísticos correspondientes para evaluar y clasificar integralmente las capacidades de desarrollo sostenible de la ciudad. Mejora de la capacidad de desarrollo de las ciudades españolas.

3.Agradecimientos

Cada persona tiene un momento en su vida en el que trabaja arduamente en silencio. He luchado, resistido y batallado por mis sueños. Agradezco mi propia persistencia, pero también es necesario expresar mi profunda gratitud hacia aquellos que me han apoyado y acompañado durante este viaje.

Si esta travesía ha sido como un trayecto a través de un túnel, y yo soy el vehículo que ha tenido que atravesar la montaña, ellos han sido las luces a lo largo del camino. Han brindado su protección y compañía hasta alcanzar la luz al otro lado.

Agradezco sinceramente al profesor Ramón Alemany por su inestimable guía y orientación a lo largo de este trabajo. Su consejo y apoyo han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

También quiero agradecer a mis compañeros por su ayuda y colaboración. La interacción y el intercambio de ideas con ustedes han enriquecido mi experiencia y han sido de gran ayuda en los momentos difíciles.

Finalmente, quiero agradecer a mis familiares y amigos por su constante apoyo y ánimo. Sin su aliento, este logro no habría sido posible.

II. Revisión de la literatura

En los últimos años, cómo evaluar la capacidad de desarrollo sostenible se ha convertido en una nueva dirección en el campo de investigación del desarrollo sostenible, siendo la construcción de sistemas de indicadores una cuestión candente que necesita ser resuelta. Los campos de la economía, la sociología y la ciencia ambiental en Occidente han investigado en profundidad las teorías y métodos de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible urbano desde sus propias perspectivas de investigación. En este proceso, se han acumulado abundantes resultados teóricos y se han propuesto muchos métodos y sistemas de indicadores valiosos. Este artículo se centra en cómo construir sistemas de indicadores de evaluación y métodos de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible urbano, recopilando y resumiendo la investigación existente.

Sistema de indicadores de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible urbano

En 1992, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo aprobó la Agenda 21, que establecía como una de las principales tareas de la investigación del desarrollo sostenible en todo el mundo la creación de indicadores de desarrollo sostenible y la promoción del uso global de estos indicadores. En 1994, la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas alentó enérgicamente en diversas conferencias internacionales la participación activa de los países en la creación de sistemas de indicadores de evaluación del desarrollo sostenible. Con el continuo refinamiento y profundización de la teoría del desarrollo sostenible, el ámbito de los sistemas de indicadores de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible también ha evolucionado gradualmente, pudiendo dividirse en cuatro niveles: internacional, nacional, urbano y otros. Este artículo analiza los sistemas de indicadores de evaluación del desarrollo sostenible en diferentes niveles nacionales e internacionales, resumiendo y evaluando los resultados de la investigación en este campo.

1. Sistema de indicadores de desarrollo sostenible establecido por organizaciones internacionales

En 1990, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) propuso el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que puede considerarse uno de los primeros conceptos de sistemas de indicadores de desarrollo sostenible. Este sistema utiliza tres variables principales como referencia: esperanza de vida, calidad de vida y nivel educativo. La esperanza de vida se refiere a la vida media esperada al nacer, la calidad de vida se mide mediante el PIB per cápita real y el nivel educativo se evalúa mediante el índice ponderado del alfabetismo adulto y las tasas de matriculación en educación primaria, secundaria y terciaria (con un peso de 2/3 y 1/3 respectivamente). El IDH puede reflejar de manera integral los niveles de salud y bienestar, educación, economía y vida de las personas en diferentes países o regiones, proporcionando

una visión más completa del desarrollo económico y social. Desde 1990, el PNUD recopila y organiza datos anualmente en este campo, publicando el IDH de varios países o regiones, con una amplia influencia. Sin embargo, una limitación del IDH es que se centra demasiado en la descripción y análisis de datos históricos y actuales, sin poder predecir el desarrollo sostenible futuro.

En 1995, la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, basándose en la Agenda 21, propuso el modelo "Presión-Estado-Respuesta"(PSR) como un sistema de indicadores de desarrollo sostenible. Este modelo incluía 134 indicadores y destacaba las relaciones intrínsecas y de causa-efecto entre la presión ambiental y la degradación ecológica. Sin embargo, debido a sus defectos estructurales y al gran número de parámetros de indicadores, así como las discrepancias en la selección de indicadores y la determinación de pesos en diferentes entornos ecológicos, sistemas sociales, contextos culturales y etapas de desarrollo, su valor práctico se vio limitado. En 2001, la Comisión de Desarrollo Sostenible, basándose en el modelo PSR, formuló un modelo final compuesto por 58 indicadores, abarcando 15 factores temáticos y 38 subfactores temáticos. Este modelo proporcionó un sistema de indicadores más completo para guiar la formulación de planes estratégicos nacionales de desarrollo sostenible. Sin embargo, no se puede esperar que este sistema de indicadores sea aplicable a todos los países del mundo.

El Banco Mundial (BM) estableció un sistema de indicadores de desarrollo sostenible. En septiembre de 1995, el Banco Mundial publicó un sistema de indicadores de desarrollo sostenible basado en la riqueza nacional como medida de la capacidad de desarrollo sostenible. Este sistema considera el desarrollo sostenible como un proceso de generación y mantenimiento de riqueza, utilizando la riqueza como base principal para formular estrategias de desarrollo nacional, superando ampliamente el ámbito del dinero y las inversiones. El sistema descompone la riqueza nacional.^{en} recursos naturales, activos sociales, recursos humanos y recursos sociales para estimar la riqueza real de varios países y regiones, evaluando así la capacidad de desarrollo sostenible desde una perspectiva de cambio dinámico. Las ventajas de este sistema son: hacer tangible el concepto de desarrollo sostenible, reflejar los cambios dinámicos de esta capacidad para obtener resultados de evaluación más razonables; estimar con mayor precisión la riqueza real y la capacidad de desarrollo sostenible de un país o región en comparación con el PIB per cápita; y utilizar el concepto de "tasa de ahorro" como representante del cambio dinámico de esta capacidad en un país o región, evaluando dinámicamente esta capacidad en 192 países y regiones del mundo por primera vez. No obstante, una limitación de este sistema es que no considera los antecedentes históricos y culturales y las etapas de desarrollo económico y social de diferentes países o regiones al evaluar los cambios dinámicos en la riqueza nacional.

Los SDGs son las siglas de Sustainable Development Goals (Objetivos de Desarrollo Sostenible), propuestos por las Naciones Unidas en 2015. Los SDGs de la ONU señalan los objetivos

y la dirección del desarrollo global de 2015 a 2030. Comprenden 17 objetivos de desarrollo sostenible y 169 metas específicas, que abarcan dimensiones sociales, económicas y ambientales. Constituyen una visión de valor universal y transformadora para perseguir un futuro mejor. Los SDGs hacen un llamado a todos los países para que actúen, promoviendo la prosperidad económica mientras protegen el planeta, eliminan la pobreza, protegen el medio ambiente y mejoran la vida y el futuro de todas las personas. Actualmente, los SDGs ya han recibido respuesta y práctica a nivel global. La implementación de los SDGs requiere ajustarse a las condiciones de desarrollo de cada país y región, construyendo un sistema de evaluación de indicadores SDGs científico y publicando periódicamente los resultados de las evaluaciones. Además, es esencial fortalecer la promoción y educación sobre el concepto de desarrollo sostenible, con la participación conjunta del gobierno, las empresas y todos los sectores de la sociedad, impulsando la pronta realización de los SDGs en China y en todo el mundo.

La Tabla 1 muestra la distribución de los informes de evaluación promovidos por SDSN y sus indicadores a nivel nacional, regional y local.

Cuadro 1: SDG Indicators

| Goal | Id | Indicator | Description | Scale |
|-------------|-----------|-------------------------|---|--------------|
| 1 | 1a | sdg01_2020ratio | 20:20 ratio. Income inequality metric | Municipal |
| 1 | 1b | sdg01_gastosocial | Social Welfare spending per capita | Municipal |
| 1 | 1c | sdg01_pobreza | Population with income per consumption unit below 40 % | Municipal |
| 1 | 1d | sdg01_pobrezamenores | Child poverty rate | Municipal |
| 1 | 1e | sdg01_riesgopobreza | Risk of poverty rate | Municipal |
| 2 | 2a | sdg02_agricultura | Organic farming rate | Provincial |
| 2 | 2b | sdg02_consumo | Food consumption prices index | Provincial |
| 2 | 2c | sdg02_empagri | Employment rate in agriculture and fishery | Municipal |
| 2 | 2d | sdg02_expagrariasurbano | Agricultural and Forestry Operations | Municipal |
| 2 | 2e | sdg02_supcultivos | Share of land of agricultural areas | Municipal |
| 3 | 3a | sdg03_adfertility | Adolescent fertility rate | Municipal |
| 3 | 3b | sdg03_alcohol | Alcohol and drugs death rate | Municipal |
| 3 | 3c | sdg03_gripe | Infectious disease of the respiratory system death rate | Municipal |
| 3 | 3d | sdg03_hepatitis | Viral hepatitis-related deaths rate | Municipal |
| 3 | 3e | sdg03_infantil | Infant mortality | Municipal |
| 3 | 3f | sdg03_ncd | Non-communicable diseases death rate | Municipal |
| 3 | 3g | sdg03_prematuras | Premature mortality (under 65 years) | Municipal |
| 3 | 3h | sdg03_suicidios | Suicide death rate | Municipal |
| 3 | 3i | sdg03_trafico | Road traffic death rate | Municipal |
| 3 | 3j | sdg03_tuberculosis | Tuberculosis death rate | Municipal |
| 3 | 3k | sdg03_tumores | Respiratory system tumours death rate | Municipal |

Continued on next page

Cuadro 1 – Continued from previous page

| Goal | Id | Indicator | Description | Scale |
|-------------|-----------|-------------------------|---|--------------|
| 3 | 3l | sdg03_vida | Life expectancy | Municipal |
| 3 | 3m | sdg03_vih | HIV and AIDS death rate | Municipal |
| 4 | 4a | sdg04_estudiantes | Students enrolled in higher education | Municipal |
| 4 | 4b | sdg04_gastoeu | Education spending per capita | Municipal |
| 4 | 4c | sdg04_guarderia | Children (0-4) in day care or school | Municipal |
| 4 | 4d | sdg04_iscsed012 | Adults with primary education (ISCED level 0-1,2) | Municipal |
| 4 | 4e | sdg04_iscsed34 | Adults with secondary education (ISCED level 3-4) | Municipal |
| 4 | 4f | sdg04_iscsed56 | Adults with higher education (ISCED level 5-8) | Municipal |
| 5 | 5a | sdg05_brechapension | Gender subsidy gap | Provincial |
| 5 | 5b | sdg05_brechasalarial | Gender salary gap | Provincial |
| 5 | 5c | sdg05_delitossex | Violence and sexual exploitation rate | Municipal |
| 5 | 5d | sdg05_denuncias | Gender violence rate | Municipal |
| 5 | 5e | sdg05_paridad | Seats held by women in municipal governments | Municipal |
| 6 | 6a | sdg06_balanceagua | Balance in budgets for water service | Municipal |
| 6 | 6b | sdg06_canon | Fee for water supply and sanitation rate | Municipal |
| 6 | 6c | sdg06_esfuerzo | Financial exertion for water supply | Municipal |
| 6 | 6d | sdg06_litros | Volume of water distributed per day | Municipal |
| 6 | 6e | sdg06_precioabasteci | Water supply price | Municipal |
| 6 | 6f | sdg06_preciosaneamiento | Water sanitation price | Municipal |
| 7 | 7a | sdg07_eficiencia | Reduction in spending on street lighting since 2012 | Municipal |
| 7 | 7b | sdg07_facturarel | Impact of electricity costs on average household income | Municipal |
| 7 | 7c | sdg07_renovable | Renewable energy rate | Provincial |

Continued on next page

Cuadro 1 – Continued from previous page

| Goal | Id | Indicator | Description | Scale |
|-------------|-----------|------------------------|---|--------------|
| 7 | 7d | sdg07_suministro | Water supply quality index | Provincial |
| 8 | 8a | sdg08_accidentes | Accidents at Work | Municipal |
| 8 | 8b | sdg08_desempleo | Unemployment rate | Municipal |
| 8 | 8c | sdg08_desempleocovid | Impact of COVID-19 on unemployment rate | Municipal |
| 8 | 8d | sdg08_desempleojuvenes | Youth unemployment rate | Municipal |
| 8 | 8e | sdg08_desempleolarga | Long term unemployed | Municipal |
| 8 | 8f | sdg08_diversidad | Sector-dependency job index | Municipal |
| 8 | 8g | sdg08_pibcapitumun | GDP annual growth rate | Municipal |
| 8 | 8h | sdg08_productividad | Annual productivity growth rate | Municipal |
| 9 | 9a | sdg09_3g4g | 3G and 4G networks access index | Provincial |
| 9 | 9b | sdg09_bandancha | Broadband penetration rate | Provincial |
| 9 | 9c | sdg09_empiindus | Employees in Industry rate | Municipal |
| 9 | 9d | sdg09_gastoi | spending per capita | Municipal |
| 9 | 9e | sdg09_patentes | Patent applications local rate | Municipal |
| 9 | 9f | sdg09_sueloeco | Land area planned for economic activities | Municipal |
| 10 | 10a | sdg10_mediana | Population under poverty line | Municipal |
| 10 | 10b | sdg10_discapacitados | People with disabilities in labour market | Municipal |
| 10 | 10c | sdg10_extrangeros | Foreign immigration | Municipal |
| 10 | 10d | sdg10_gini | Gini index | Municipal |
| 10 | 10e | sdg10_inigiini | Initial Gini index | Municipal |
| 10 | 10f | sdg10_top10 | Top 1 %. Income inequality metric | Municipal |
| 11 | 11a | sdg11_no2 | NO2 concentration. Air Quality indicator | Municipal |

Continued on next page

Cuadro 1 – Continued from previous page

| Goal | Id | Indicator | Description | Scale |
|-------------|-----------|-------------------------|--|--------------|
| 11 | 11b | sdg11_o3 | Ozone concentration. Air Quality indicator | Municipal |
| 11 | 11c | sdg11_pm10 | PM10 concentration. Air Quality indicator | Municipal |
| 11 | 11d | sdg11_pm10dias | Days that exceed PM10 limits | Municipal |
| 11 | 11e | sdg11_pm10media | PM10 annual average | Municipal |
| 11 | 11f | sdg11_precio | Housing access index | Municipal |
| 11 | 11g | sdg11_residencias | Nursing home places | Municipal |
| 11 | 11h | sdg11_resiliencia | Urban resilience index | Municipal |
| 11 | 11i | sdg11_suprtans | Access to public transport index | Municipal |
| 11 | 11j | sdg11_viviendaprotegida | Access to protected housing | Municipal |
| 11 | 11k | sdg11_vulnerables | Urban vulnerability index | Municipal |
| 12 | 12a | sdg12_envases | Plastic recycling and packaging rate | Municipal |
| 12 | 12b | sdg12_improprios | Improper waste rate | Municipal |
| 12 | 12c | sdg12_papel | Paper recycling rate | Municipal |
| 12 | 12d | sdg12_turismo | Sustainable tourism | Municipal |
| 12 | 12e | sdg12_vidrio | Glass recycling rate | Municipal |
| 13 | 13a | sdg13_CO2buildings | Buildings and industry CO2 emissions per capita | Municipal |
| 13 | 13b | sdg13_CO2capita | CO2 emissions per capita | Municipal |
| 13 | 13c | sdg13_CO2transport | Transportation CO2 emissions per capita | Municipal |
| 13 | 13d | sdg13_medicon | Covenant of mayors for climate and energy network | Municipal |
| 14 | 14a | sdg14_banderaazul | Blue flags index for coastal areas | Municipal |
| 14 | 14b | sdg14_calidad | Bathing sites with excellent water quality | Municipal |
| 14 | 14c | sdg14_costamun | Land built on the coastal strip of the first 500 m | Municipal |

Continued on next page

Cuadro 1 – Continued from previous page

| Goal | Id | Indicator | Description | Scale |
|-------------|-----------|------------------------|--|--------------|
| 14 | 14d | sdg14_dpmtt | Protected public land–maritime domain | Municipal |
| 14 | 14e | sdg14_habitatmun | Coastal and marine protected natural habitats | Municipal |
| 15 | 15a | sdg15_cobartificial | Territory and habitat diversity. Artificial cover | Municipal |
| 15 | 15b | sdg15_enp | Protection of Natural Areas | Municipal |
| 15 | 15c | sdg15_zonaforestal | Forest areas | Municipal |
| 15 | 15d | sdg15_zonasverdes | Tree Cover Density | Municipal |
| 15 | 15e | sdg15_zonasverdes | Green Areas | Municipal |
| 16 | 16a | sdg16_blanqueo | Drug traffic crime rate | Municipal |
| 16 | 16b | sdg16_criminalidad | Crime rate | Municipal |
| 16 | 16c | sdg16_homicidios | Murders and violent deaths | Municipal |
| 16 | 16d | sdg16_participacion | Citizen participation and collaboration index | Municipal |
| 16 | 16e | sdg16_fortaleza | Strength and autonomy of the municipal institution | Municipal |
| 16 | 16f | sdg16_solidez | Municipal transparency index | Municipal |
| 16 | 16g | sdg16_transparencia | Economic and financial transparency index | Municipal |
| 16 | 16h | sdg16_transparenciaeco | Violence against children (under 13 years) | Municipal |
| 16 | 16i | sdg16_violencia | Cooperation and development projects | Municipal |
| 16 | 16j | sdg16_opendata | Open data index | Municipal |
| 16 | 16k | sdg16_nacional | National network to achieve the SDGs | Municipal |
| 17 | 17a | sdg17_coop | Cooperation and development projects | Municipal |
| 17 | 17b | sdg17_opendata | Open data index | Municipal |
| 17 | 17c | sdg17_redes | National network to achieve the SDGs | Municipal |
| 17 | 17d | sdg17_zonasblancas | National White NGA areas | Municipal |

III. Metodología principal

Desde que la cuestión del desarrollo sostenible urbano ha recibido amplia atención, muchas instituciones y académicos de diferentes disciplinas han investigado los métodos de evaluación del desarrollo sostenible desde sus respectivas perspectivas profesionales, aplicando numerosas teorías relacionadas y obteniendo resultados abundantes. Actualmente, los siguientes métodos son los más ampliamente utilizados: Análisis de Componentes Principales (Principal Components Analysis, PCA), Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), Huella Ecológica (Ecological Footprint, EF), Análisis Envoltante de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA), entre otros. A continuación, se presenta una breve introducción de estos métodos de evaluación y un resumen de sus ventajas y desventajas.

1. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Descripción General del ACP: El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística multivariante que se utiliza principalmente para simplificar conjuntos de datos. Pertenece a los métodos de análisis de interdependencia, ya que todas las variables en este método tienen la misma importancia. ACP fue desarrollado por Hotelling en 1933, aunque sus orígenes pueden rastrearse hasta el análisis de Pearson en 1901. ACP se basa en el método de mínimos cuadrados ortogonales y generalmente se utiliza para reducir el número de variables iniciales en un análisis, tratando de explicar la mayor cantidad posible de variabilidad de la muestra con menos variables. Estas variables reducidas se denominan componentes principales y son combinaciones lineales de los datos originales.

Extracción de Información y Condiciones de Aplicación: ACP puede extraer la mayor cantidad de información del sistema inicial y formar una medida compuesta. Su aplicación requiere que los indicadores en el sistema inicial estén correlacionados en cierta medida (Nardo et al., 2005a). Generalmente, esta técnica se aplica a los valores iniciales de los indicadores cuando están expresados en la misma unidad, es decir, datos normalizados.

Aplicación Amplia y Ventajas: ACP es ampliamente utilizado como método para construir indicadores compuestos porque puede reducir un conjunto de variables originales a un conjunto más pequeño de componentes principales. Específicamente, la aplicación de ACP en el sistema de indicadores genera un conjunto de nuevas variables ortogonales (no correlacionadas), cuya media aritmética es cero, la varianza es máxima, y están definidas como combinaciones lineales de los indicadores iniciales. Estas nuevas variables se denominan componentes principales.

Fórmula y Explicación de Pesos: La h-ésima componente principal (Z_h) se define como sigue:

$$Z_h = \sum_{j=1}^m \omega_{hj} I N_j$$

donde ω_{hj} representa el peso que define la componente principal h.

Reducción de Componentes y Selección de Estándares: El objetivo de esta técnica es explicar la mayor parte de la variabilidad total del sistema con el menor número de componentes, minimizando así la pérdida de información. Debido a que el número de componentes principales generados es igual al número de indicadores que componen el sistema, es necesario seleccionar un menor número de componentes utilizando algunos de los estándares disponibles en la literatura: el estándar de media aritmética (Kaiser, 1958), el estándar de caída (Cattell, 1965) o el estándar de porcentaje de varianza explicada (Wubneh, 1987; Wang, 2005).

Aplicación de ACP y Tipos de Procedimientos: El uso de ACP es particularmente común en situaciones donde los expertos no han llegado a un consenso sobre la importancia relativa de las variables, ya que internamente otorga mayor peso a las variables que están altamente correlacionadas con el conjunto restante de variables en el sistema. La literatura existente permite identificar dos tipos de procedimientos que utilizan ACP para obtener los valores de un indicador compuesto:

Primera Categoría: Basada en la Elaboración de una Escala Aditiva

1. Identificación de Indicadores Suplentes: En este caso, para definir el indicador compuesto, primero se identifican los indicadores suplentes de cada componente principal seleccionada. Los indicadores suplentes de una componente específica son aquellos que muestran una mayor correlación con los valores obtenidos para esa componente.

2. Interpretación de Componentes: Identificar estos indicadores suplentes ayuda a interpretar las componentes principales y seleccionar los indicadores más representativos del sistema inicial para el estudio del concepto evaluado, excluyendo aquellos que proporcionan información secundaria.

3. Definición de Variables Representativas: Después de seleccionar los indicadores suplentes, se define una variable representativa para cada componente principal a partir de una combinación lineal de sus indicadores suplentes (normalmente, mediante la media aritmética de los indicadores suplentes o la simple suma de dichos indicadores).

4. **Suma Ponderada:** Finalmente, el indicador compuesto se obtiene como una suma ponderada de las variables representativas, otorgando a cada componente el mismo peso (Mcintyre et al., 2002; Jha y Murthy, 2003; Messer et al., 2006; Liou et al., 2004).

Segunda Categoría: Basada en los Valores de Componentes Principales Seleccionadas

Según la forma en que se define el indicador compuesto, este tipo de trabajo puede dividirse en dos grandes grupos.

1: Obtener el Indicador Compuesto de la Primera Componente Principal

Esta elección debe basarse en la interpretación de la primera componente en función de las correlaciones mostradas con los indicadores iniciales. El uso de la primera componente como indicador compuesto varía según los estudios. En la mayoría de los casos, se toma el valor de la primera componente como el valor del indicador compuesto (Cailas et al., 1996; Lai, 2000; Filmer y Pritchett, 2001; Singh, 2004; Onwujekwe et al., 2005; Heshmati, 2006; Vyas y Kumaranayake, 2006). En otros casos, para definir el indicador compuesto, se opta por transformar el valor de la componente a una escala 0-10 o 0-100 para facilitar su interpretación (Ocaña-Riola y Sánchez-Cantalejo, 2005). Si esta componente no refleja adecuadamente el concepto estudiado, se elige la componente principal que mejor permita realizar dicha evaluación .

En otros casos, este procedimiento se utiliza únicamente para determinar los pesos, tomando como pesos los coeficientes asociados a la definición de la componente y agregando los indicadores de forma no aditiva .

2: Definir el Indicador Compuesto mediante la Agregación de Todas las Componentes Principales Seleccionadas

En algunos casos, esta agregación se realiza mediante una suma ponderada:

$$IS_j = \sum_{h=1}^p w_h \cdot Z_h$$

donde w_h es el peso otorgado a la componente h .

Para definir esta suma ponderada, pueden utilizarse diferentes pesos. Por un lado, algunos estudios toman como ponderación la cuantía de los autovalores asociados a cada componente . Por otro lado, otros trabajos utilizan como ponderaciones el porcentaje de la varianza explicada por cada componente . En estos casos, al no existir una única variable que resuma adecuadamente la realidad que se quiere estudiar, sino varias que contienen información relevante, se utilizan todas para agregarlas en un solo valor que contenga toda la información.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una herramienta estadística poderosa que simplifica los conjuntos de datos al reducir el número de variables, mientras retiene la mayor cantidad posible de información original. Hay dos principales aplicaciones del método ACP. Una se basa en los valores del primer componente principal para obtener un indicador compuesto, lo cual es adecuado cuando el primer componente tiene una alta correlación con los indicadores iniciales. La otra aplicación es definir el indicador compuesto mediante la agregación ponderada de todos los componentes principales seleccionados. En algunos casos, los pesos para esta suma ponderada pueden basarse en los valores propios de cada componente o en el porcentaje de varianza explicado. A través de un método de ACP en dos etapas, se pueden obtener indicadores compuestos para cada grupo o dimensión y luego combinarlos en un indicador global, mejorando así la interpretabilidad de los resultados.

Las ventajas del ACP incluyen la determinación automática de pesos, evitando la complejidad de que el analista deba establecer manualmente los pesos. Además, el ACP evita el problema de la doble contabilización de información, ya que los componentes principales son independientes y no correlacionados, lo que significa que cada uno proporciona información única. Sin embargo, el ACP también presenta algunas limitaciones. Los resultados son altamente sensibles a los cambios en el conjunto de datos inicial, como la introducción de nuevos indicadores o la actualización de variables existentes, lo que puede afectar significativamente los resultados. Además, los valores extremos pueden influir considerablemente en los resultados del ACP, aumentando la variabilidad de los datos iniciales. Dado que los componentes principales son combinaciones lineales de los indicadores iniciales, los indicadores compuestos resultantes pueden ser difíciles de interpretar directamente. Para facilitar la interpretación, a menudo se realiza una rotación de componentes, como la rotación Varimax o Quartimax, aunque incluso con estas herramientas, la dificultad de interpretación no siempre se reduce.

Asimismo, los resultados del ACP dependen en gran medida de las decisiones del analista, como la selección de procedimientos y estándares para elegir los componentes, lo que puede aumentar la subjetividad en los resultados. Por lo tanto, al aplicar el ACP, es crucial que los analistas tomen decisiones objetivas basadas en la literatura existente y realicen análisis de robustez para minimizar la subjetividad. En resumen, aunque el método ACP ofrece ventajas significativas en la simplificación de datos y la extracción de información, su aplicación requiere

precaución, especialmente en la interpretación de resultados y la garantía de la calidad de los datos.

2. Método de la Huella Ecológica

El Método de la Huella Ecológica (Ecological Footprint, EF) fue propuesto en 1992 por el Dr. William Rees, profesor de economía de la Universidad de British Columbia en Canadá, y Mathis Wackernagel. El Método de la Huella Ecológica evalúa el equilibrio entre la superficie necesaria para satisfacer las necesidades humanas en términos de recursos naturales y capacidad de asimilación de la naturaleza y la capacidad de carga ecológica. Desde la perspectiva del medio ambiente, examina si las actividades humanas exceden los límites de carga del ecosistema, y mide el grado de desarrollo sostenible en una región específica, por lo que se aplica ampliamente en la evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible.

Las ventajas del análisis de la huella ecológica radican en su base teórica científica y sistemática, su estructura conceptual intuitiva y clara, y su sistema de indicadores simple y unificado. Proporciona un estándar para medir la capacidad de desarrollo sostenible, permitiendo a las personas conocer la distancia entre la capacidad de desarrollo sostenible actual y el objetivo final, lo que facilita el monitoreo en tiempo real de la efectividad de las políticas de sostenibilidad. Además, el proceso de cálculo de la huella ecológica tiene una gran capacidad de replicación, permitiendo la creación de un paquete de software de cálculo que popularice los indicadores y métodos de este análisis.

El déficit o excedente ecológico se obtiene comparando la demanda de huella ecológica (EF) de un país o región con su capacidad de carga ecológica (EC). Si $EF \geq EC$, se presenta un déficit ecológico, lo que indica que la carga humana en esa región supera su capacidad ecológica, sugiriendo que el modelo de desarrollo de la región es relativamente insostenible. Por el contrario, si $EF < EC$, se presenta un excedente ecológico, lo que indica que la capacidad ecológica de la región es suficiente para soportar su carga humana, sugiriendo que el modelo de desarrollo de la región es relativamente sostenible.

Definición y Cálculo de la Huella Ecológica

La huella ecológica se refiere al espacio territorial biológicamente productivo capaz de satisfacer de manera sostenible las necesidades de una población de cierto tamaño. Según los proyectos de consumo de los residentes, se convierte en la tierra biológicamente productiva

correspondiente. La fórmula de cálculo se puede expresar como:

$$EF = N \times ef = N \sum_{i=1}^6 (r_i c_i p_i)$$

donde:

- i es el tipo de bienes de consumo y entradas;
- EF es la ocupación ecológica total;
- N es el número de habitantes;
- ef es la ocupación ecológica per cápita;
- r_i es el factor de equivalencia;
- c_i es el consumo per cápita del bien i ;
- p_i es la producción promedio mundial del bien i .

Los tipos de tierras biológicamente productivas se dividen en seis categorías: tierras de cultivo, pastizales, áreas acuáticas, bosques, tierras para energía fósil y áreas construidas. Los tipos de consumo incluyen las siguientes cuatro cuentas: cuenta de alimentos, cuenta de vivienda, cuenta industrial y cuenta de bienes.

Este método proporciona una forma más detallada y precisa de evaluar el impacto de la vivienda en la huella ecológica. A través de estos cálculos y mejoras, se puede evaluar de manera más precisa la huella ecológica y la capacidad de carga ecológica de una región, ayudando a formular estrategias de desarrollo más sostenibles.

Sin embargo, el método de la huella ecológica también presenta limitaciones. Sus resultados solo reflejan el impacto de las políticas económicas en el medio ambiente, considerando únicamente el consumo de recursos del desarrollo económico y social, sin incluir el consumo de recursos de productos y servicios ecológicos. Además, al considerar el consumo de recursos, solo se calculan los consumos directos y no los indirectos. Tampoco se consideran otros factores importantes, como la tierra agrícola utilizada por las ciudades durante el proceso de industrialización y el envejecimiento del suelo causado por la erosión, la contaminación, etc. Asimismo, el método de la huella ecológica solo puede analizar datos estáticos del estado actual, y sus

conclusiones solo reflejan la situación del desarrollo presente, por lo que no pueden predecir las tendencias futuras.

3.Método de Análisis de Jerarquía

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una técnica de decisión multicriterio discreta. Fue creada por Saaty en 1980 y representa la Escuela Americana dentro del enfoque de modelos de decisión multicriterio discretos. Las metodologías basadas en AHP están diseñadas para obtener medidas sintéticas en varias fases de agregación. Estas metodologías se basan en cuatro principios básicos: estructuración del problema mediante jerarquías, valoración mediante una escala de ratio derivada de la comparación por pares entre los elementos de la jerarquía, establecimiento de prioridades y consistencia lógica. Para obtener indicadores sintéticos a partir de los resultados de aplicar AHP, el analista debe realizar los siguientes pasos o tareas:

- **Estructurar de forma jerárquica el problema:** Agrupar previamente los indicadores del sistema inicial según la dimensión conceptual a la que pertenecen.
- **Comparar por pares los elementos de la jerarquía:** Comparar todos los elementos de la jerarquía de forma independiente, en función de su importancia respecto al elemento del nivel superior del cual dependen. Para cuantificar la importancia relativa de cada indicador, el analista debe usar una escala de valoración predefinida, que puede ajustar según la naturaleza de los indicadores comparados, siempre indicando claramente la correspondencia entre los valores absolutos de partida de cada indicador y los valores que muestran la intensidad de la preferencia en la escala de valoración.
- **Obtener la importancia relativa de los indicadores de cada dimensión:** Utilizar como ponderaciones los valores de las componentes del autovector asociado al autovalor dominante de la matriz definida a partir de los valores de las comparaciones realizadas entre los elementos incluidos en ese grupo. Para obtener un valor normalizado de los pesos de cada indicador, se aplica el método recíproco de columnas.
- **Calcular el indicador sintético:** Sumar los productos de los pesos de cada indicador y los elementos jerárquicos superiores de los que dependen.

Obtener indicadores sintéticos mediante el método AHP tiene varias ventajas. Primero, la organización del problema mediante una estructura jerárquica aumenta la transparencia del proceso. Segundo, permite obtener medidas sintéticas a partir de indicadores cuantitativos y

cualitativos, siendo una metodología fácil de aplicar y entender, especialmente con el uso del software Expert Choice que facilita la implementación del método AHP. Sin embargo, esta metodología también tiene algunas limitaciones. Las comparaciones por pares pueden hacer que los resultados dependan de juicios subjetivos del decisor; esto es especialmente problemático cuando el sistema incluye muchos indicadores, ya que requiere muchas comparaciones por pares, complicando el cálculo computacional. Además, estos indicadores sintéticos son muy sensibles a cambios en el sistema de indicadores, y la inclusión de indicadores irrelevantes puede alterar completamente el orden de las alternativas obtenidas a partir del indicador sintético.

4.Método de Análisis Envoltente de Datos

El Método de Análisis Envoltente de Datos (Data Envelopment Analysis, DEA) fue propuesto por primera vez en 1978 por los renombrados expertos estadounidenses en investigación operativa, el profesor A. Charnes y el profesor W.W. Cooper. Este método es un campo emergente de investigación interdisciplinaria que abarca la investigación operativa, la economía matemática y la ciencia de la gestión. El DEA se basa en múltiples indicadores de entrada y salida y utiliza métodos de programación matemática (como la programación lineal, la programación estocástica y la programación de objetivos múltiples) para evaluar la eficiencia relativa de unidades similares.

La ventaja destacada del método DEA radica en su capacidad para analizar la eficiencia relativa de las unidades dentro de un sistema de "múltiples entradas y múltiples salidas". Por lo tanto, se aplica ampliamente en diversos aspectos de la evaluación de eficiencia en el ámbito económico, incluyendo la evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible de las ciudades. El método DEA evalúa la capacidad de desarrollo sostenible urbano en una región específica desde la perspectiva de entrada y salida, calculando la eficiencia con la que los indicadores de entrada, como los recursos y el medio ambiente, se transforman en indicadores de salida, como el desarrollo económico y el progreso social.

4.1 Determinar el propósito de la evaluación:

El principal objetivo del método DEA es evaluar la relativa eficiencia entre varias muestras similares. Para utilizar correctamente el método DEA, es crucial analizar el propósito específico de la evaluación, ya que esto es la base para establecer el sistema de indicadores de entrada y salida y seleccionar el modelo DEA adecuado. En este estudio, se aplica el método DEA para evaluar la capacidad de desarrollo sostenible del SDS (Sistema de Desarrollo Sostenible). En términos generales, una fuerte capacidad de desarrollo sostenible significa obtener un mayor desarrollo

económico, social y demográfico con un menor consumo de recursos y costos ambientales. En la jerga del DEA, esto significa utilizar los recursos y el medio ambiente como entradas y el desarrollo demográfico, económico y social como salidas. La efectividad relativa del DEA del SDS se puede usar para medir la capacidad de desarrollo sostenible. Para los subsistemas, el concepto de efectividad relativa del DEA también se puede utilizar para evaluar su capacidad de desarrollo sostenible, por ejemplo, la capacidad de desarrollo sostenible del subsistema económico está relacionada con la capacidad y eficiencia para transformar recursos regionales, humanos, tecnológicos y de capital en bienes y servicios.

4.2 Selección de Unidades de Decisión (DMU):

Se debe determinar el conjunto de unidades de decisión (DMU) de referencia. Técnicamente, el número de DMUs en DEA debe cumplir con dos requisitos: primero, las DMUs del conjunto de referencia deben tener características similares; segundo, generalmente se considera que el número de DMUs debe ser al menos el doble del número total de indicadores de entrada y salida. En la evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible, al realizar una comparación longitudinal de una región, se pueden elegir diferentes años o períodos como DMUs. Es particularmente útil examinar la capacidad de desarrollo sostenible del SDS desde la propuesta del concepto hasta la implementación de la estrategia de desarrollo sostenible. Si se realiza una comparación horizontal entre múltiples regiones, se debe prestar atención a la comparabilidad de cada DMU. Para estudiar mejor la efectividad relativa de cada DMU, se pueden incluir algunas DMUs ideales en la muestra original. Estas DMUs ideales pueden ser áreas o países ejemplares de desarrollo sostenible o los objetivos de desarrollo sostenible concretizados teóricamente. Esto ayuda a superar ciertos fenómenos de efectividad superficial en la muestra original del DEA y permite analizar más claramente los principales factores que impiden el desarrollo sostenible regional.

4.3 Establecimiento del Sistema de Indicadores de Entrada y Salida:

La principal regla para seleccionar indicadores de entrada y salida es reflejar el propósito y contenido de la evaluación; además, técnicamente se debe evitar una fuerte relación lineal entre los indicadores dentro del conjunto de entrada (o salida). También se debe considerar la diversidad y disponibilidad de los indicadores. En la evaluación DEA de la capacidad de desarrollo sostenible, las entradas del sistema incluyen el consumo de recursos, la contaminación ambiental, la mano de obra y las inversiones de capital; las salidas incluyen el desarrollo económico, el progreso social, el desarrollo demográfico y la calidad de vida. La experiencia y la teoría muestran que la elección de indicadores de evaluación adecuados es crucial para el método DEA. Los resultados de la evaluación del DEA varían con diferentes indicadores, por lo que en la práctica se necesita examinar cómo varían los resultados del DEA con diferentes

sistemas de indicadores y la información valiosa que esto conlleva. Los métodos compuestos de DEA mencionados en la literatura, que obtienen coeficientes de efectividad bajo diferentes indicadores, tienen un amplio potencial de aplicación en la evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible, proporcionando información sobre la relación entre la efectividad de las unidades de decisión y los indicadores de entrada y salida.

4.4 Selección del Modelo DEA:

Existen varios tipos de modelos DEA. En esta investigación empírica se ha seleccionado principalmente el modelo CCR, que evalúa la eficiencia de escala y técnica. En la aplicación, se puede elegir el modelo DEA adecuado según el contexto real del problema y el objetivo de la evaluación. También se pueden aplicar diferentes modelos para evaluar desde distintos ángulos y obtener conclusiones más completas.

4.5 Realización del Análisis DEA:

Realizar un análisis DEA incluye la recopilación y organización de datos, la solución del modelo y el análisis exploratorio. Según la validez y razonabilidad de las conclusiones obtenidas, se puede decidir si es necesario ajustar el sistema de indicadores de entrada y salida y volver a seleccionar el modelo. Dado que la evaluación del desarrollo sostenible involucra muchos factores y un sistema de indicadores extenso, puede haber cierta dificultad en la aplicación del análisis DEA, lo que requiere una adecuada integración de los indicadores. Antes de la integración, los datos deben ser estandarizados, lo cual se puede lograr mediante métodos como el análisis de componentes principales para reducir la dimensionalidad o métodos de síntesis de múltiples indicadores. Para realizar análisis y comparaciones desde múltiples perspectivas, es necesario ajustar los indicadores de entrada y salida (es decir, diseñar múltiples esquemas). Además, para facilitar el manejo y procesamiento de los datos, se puede establecer una base de datos correspondiente de indicadores de entrada y salida. La solución del modelo se puede realizar mediante software de programación lineal general o software especializado en DEA. El análisis práctico de los resultados del DEA es uno de los aspectos más importantes de la aplicación, ya que proporciona información útil directamente a los tomadores de decisiones. Esto requiere que el evaluador tenga un buen entendimiento del significado económico de los indicadores, el contexto real del problema y experiencia personal, además de trabajar en conjunto con expertos para investigar y discutir, con el fin de obtener información valiosa.

4.6 Ajustar el sistema indicador de entrada y salida.

Cuando no se esté satisfecho con las conclusiones del análisis y evaluación de DEA, es necesario ajustar el sistema de indicadores de entrada y salida sin desviarse del objetivo de la

evaluación, y volver a resolver. Ajustar repetidamente el sistema de indicadores de entrada y salida, realizar diferentes análisis de evaluación DEA, y comparar diferentes resultados, permite observar qué indicadores tienen un impacto significativo en la eficiencia de las DMU (Unidades de Decisión), lo cual es particularmente significativo en la investigación de evaluación de sistemas complejos.

Sobre la relación entre el tamaño del conjunto de indicadores y la efectividad de DEA, tenemos lo siguiente: $D1$ y $D2$ son conjuntos de indicadores (incluidos insumos y resultados), $\theta_j(D1)$ y $\theta_j(D2)$ son los coeficientes de efectividad de la DEA de la j -ésima unidad de toma de decisiones bajo los conjuntos de indicadores $D1$ y $D2$ respectivamente. (modelo CCR), n es el número Z de DMU .

Lo anterior indica que cuando se amplía el conjunto de indicadores de evaluación, los coeficientes de eficiencia de cada unidad de decisión pueden aumentar o permanecer iguales. Usando D_i para representar el conjunto de indicadores después de eliminar el i ésimo indicador de entrada en el sistema de indicadores D , definimos:

$$S_j(i) = \frac{\theta_j(D) - \theta_j(D_i)}{\theta_j(D_i)}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Para el j_0 ésimo DMU que satisface $S_{j_0}(i) = \max_{1 \leq j \leq n} S_j(i)$, el coeficiente de eficiencia aumenta más al agregar el i ésimo indicador de entrada, lo que indica que el j_0 DMU tiene una ventaja relativa en el uso del i ésimo indicador de entrada o puede tener dificultades en la obtención de ese recurso.

Además, ajustando el conjunto de indicadores también se puede diagnosticar la ineficiencia de una unidad de decisión j_0 . Similar al cálculo de la ecuación (1):

$$S_i = \frac{\theta_{j_0}(D) - \theta_{j_0}(D_i)}{\theta_{j_0}(D_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Con i_0 y i_1 satisfaciendo respectivamente:

$$S_{i_0} = \min_{1 \leq i \leq m} S_i, \quad S_{i_1} = \max_{1 \leq i \leq m} S_i$$

i_0 es el indicador que más impacta la ineficiencia de la unidad de decisión j_0 . El resultado práctico puede ser que el indicador i_0 tiene un exceso de entrada o una baja utilización, mientras que el indicador i_1 puede tener una entrada insuficiente, convirtiéndose en un factor restrictivo. Métodos similares pueden usarse para el diagnóstico y análisis de los indicadores de salida.

IV.Métodos de construcción y evaluación del sistema de índices

1.Construcción de un sistema regional de índices de evaluación de la capacidad de desarrollo sostenible

1.1Principios de Evaluación de Desarrollo Sostenible

El estudio del sistema de indicadores de desarrollo sostenible surge en el contexto de que el desarrollo sostenible se está convirtiendo cada vez más en una medida para evaluar la calidad y las perspectivas de desarrollo de un país o región, y en el marco de que muchas naciones están explorando sus propias vías de desarrollo. Por lo tanto, al construir el sistema de indicadores de evaluación del desarrollo sostenible, la mayoría de los investigadores considera que los principios que deben guiar este estudio son:

1.1.1 Principio de Integralidad

El sistema de indicadores de evaluación del desarrollo sostenible debe reflejar de manera integral el estado y el potencial de desarrollo de los recursos ambientales y socioeconómicos de un país o región. No debe limitarse a reflejar problemas de un solo aspecto, como hacen la mayoría de los sistemas de indicadores actuales. Un sistema de evaluación razonable debe abordar diferentes subsistemas y considerar plenamente las interacciones entre ellos. Por ejemplo, el uso explotador de recursos ambientales de manera insostenible a corto plazo puede mostrar efectos positivos en algunos indicadores socioeconómicos, pero a largo plazo puede destruir el bienestar socioeconómico de las personas. Un sistema de indicadores no integral no puede reflejar esta relación.

1.1.2. Principio de Descripción y Evaluación Combinadas

El sistema de indicadores de desarrollo sostenible debe ser tanto descriptivo como evaluativo. La descriptividad se refiere a reflejar las condiciones reales y objetivas de varios aspectos, como los recursos, el medio ambiente y el nivel de desarrollo socioeconómico del objeto de estudio. La evaluatividad, por otro lado, implica evaluar la relación y el grado de coordinación entre los diferentes sistemas basándose en los datos proporcionados por los indicadores descriptivos. Los indicadores meramente descriptivos no pueden reflejar la relación entre las actividades socioeconómicas humanas y el desarrollo sostenible, ni evaluar las estrategias de desarrollo de un país o región, perdiendo así su significado. Por otro lado, los indicadores únicamente evaluativos carecen de comprensión de las condiciones reales y objetivas de diferentes países y

regiones, disminuyendo su valor práctico.

1.1.3. Principio de Comparabilidad

Dado que la teoría del desarrollo sostenible ha sido aceptada mundialmente como una guía común de acción, los valores de los indicadores obtenidos a través del sistema de indicadores de desarrollo sostenible deben ser universales y comparables al describir el estado y las perspectivas del desarrollo sostenible en diferentes países y regiones.

1.1.4. Principio de Disponibilidad de Datos

Al construir un sistema de indicadores de evaluación del desarrollo sostenible, es esencial esforzarse por la integridad del sistema para reflejar completamente los diferentes aspectos del desarrollo sostenible en varios países y regiones. Sin embargo, no se puede ignorar la realidad de que la disponibilidad de datos estadísticos sobre los aspectos socioeconómicos y de recursos ambientales varía significativamente entre países y regiones con diferentes niveles de desarrollo. Algunos países y regiones en desarrollo no tienen sistemas estadísticos bien establecidos, y mucho menos datos estadísticos completos. Un sistema de indicadores perfecto que no considere la disponibilidad de datos perderá tanto su valor teórico como su aplicabilidad práctica.

2. El proceso de construcción del sistema de indicadores

2.1 Capacidad de Soporte de la Población

La capacidad de soporte de la población, también conocida como "sistema de soporte básico." "sistema de soporte vital", se refiere a la capacidad de un país o región para proporcionar los recursos necesarios para la supervivencia y el desarrollo de su población. Esto implica la cantidad y calidad de los recursos por persona necesarios para satisfacer no solo las necesidades de la generación actual, sino también de las generaciones futuras, abordando así la cuestión de la distribución intergeneracional de los recursos. Si los recursos naturales no pueden satisfacer estas necesidades en su estado actual, se debe recurrir al avance tecnológico para buscar recursos alternativos, asegurando que el "sistema de soporte básico" pueda cubrir las necesidades primordiales de la población en la región. En cualquier forma de sociedad y en cualquier etapa de su desarrollo, si no se puede proporcionar esta capacidad de soporte básica, es imposible satisfacer las necesidades más elevadas de la humanidad. Lógicamente, solo cuando se satisfacen las necesidades del "sistema de soporte vital", la sociedad puede iniciar y acelerar el "sistema

de soporte de desarrollo”.

2.2 Capacidad de Desarrollo Regional

La capacidad de desarrollo regional, también conocida como ”sistema de soporte dinámico.^o ”sistema de soporte de desarrollo”, se refiere a la capacidad total de un país o región para convertir recursos, mano de obra, tecnología y capital en productos y servicios. El desarrollo sostenible exige que esta capacidad se eleve y crezca sin comprometer otros subsistemas, alineándose con las necesidades crecientes de las personas. Dentro de la estructura del desarrollo sostenible, los sistemas de soporte vital y de desarrollo no son independientes ni paralelos, sino que están interrelacionados en un orden lógico. Generalmente, ”primero la supervivencia, luego el desarrollo; sin supervivencia, no hay desarrollo” representa la relación lógica entre ambos.

2.3 Capacidad de Amortiguación Ambiental

La capacidad de amortiguación ambiental, también conocida como ”sistema de soporte ambiental”, implica que el desarrollo regional, el uso de recursos, el crecimiento económico y la gestión de residuos deben mantenerse dentro de la capacidad permisible del medio ambiente. De lo contrario, el desarrollo sostenible no será viable. El sistema de soporte ambiental, con su capacidad de amortiguación, resiliencia y autodepuración, mantiene los sistemas de soporte vital y de desarrollo. En otras palabras, estos sistemas deben operar dentro de los límites permitidos por el sistema de soporte ambiental. Superar estos límites resultará en el colapso de los sistemas de soporte vital y de desarrollo, poniendo en peligro no solo el objetivo de desarrollo sostenible, sino también la propia supervivencia humana. Por lo tanto, el ”sistema de soporte ambiental.^{es} una variable limitante en la estructura del desarrollo sostenible, monitoreando y advirtiendo cuantitativamente sobre la salud, razonabilidad y optimización de los otros dos sistemas de soporte.

2.4 Capacidad de Estabilidad Social

La capacidad de estabilidad social, también conocida como ”sistema de soporte social”, se refleja en la justicia, el progreso y el orden social. La sociedad no desea enfrentar consecuencias desastrosas causadas por fluctuaciones naturales extremas, desastres naturales, interferencias externas incontrolables, fluctuaciones económicas y sociales debido a guerras o pérdidas irreparables por decisiones equivocadas. Si los tres primeros sistemas de soporte cumplen con los requisitos generales de desarrollo sostenible, es decir, el sistema de soporte vital está garantizado, el sistema de soporte de desarrollo tiene una buena base y el sistema de soporte ambiental tiene suficiente capacidad, pero el sistema de soporte social falla (por ejemplo, debido a distribución desigual, gran disparidad entre ricos y pobres, conflictos irreconciliables entre grupos de interés,

hostilidad entre miembros de la sociedad o amenazas de guerra), el desarrollo sostenible se vuelve inalcanzable. Analizando internamente, el sistema de soporte social es un factor limitante de nivel superior, compuesto por la capacidad combinada de los tres primeros sistemas de soporte.

2.5 Capacidad de Regulación y Gestión

La capacidad de regulación y gestión, también conocida como "sistema de soporte institucional."^o "sistema de soporte intelectual", exige que la capacidad de reconocimiento, juicio, toma de decisiones e innovación de las personas se adapte al nivel de desarrollo general. El desarrollo intelectual y la capacidad de gestión del sistema compuesto "naturaleza-sociedad-economía" deben cumplir con los requisitos de desarrollo sostenible. Si un país o región carece de un sistema institucional adecuado y de niveles altos de educación e innovación tecnológica, el desarrollo sostenible carecerá de impulso y base, impidiendo la mejora continua del mundo con conocimiento e inteligencia. Especialmente, la capacidad de innovación institucional, el nivel de gestión y la calidad de las decisiones son factores cruciales que reflejan la función del sistema de soporte intelectual. Por lo tanto, la importancia del sistema de soporte intelectual dentro del desarrollo sostenible es evidente.

Mediante la distinción realizada anteriormente sobre el sistema de soporte de la capacidad de desarrollo sostenible desde una perspectiva estructural y funcional, solo se pretende mostrar la relación lógica interna entre sus componentes y el orden y la posición entre ellos. De hecho, la formación, el desarrollo y el progreso de la capacidad de desarrollo sostenible de cualquier país o región no se deben a la acción individual de uno de los sistemas de soporte, sino que representan la acción conjunta y la contribución integral del sistema de soporte en su totalidad. Sin embargo, también es importante entender que cualquier fallo o colapso de uno de los sistemas de soporte puede destruir total y completamente la capacidad general de desarrollo sostenible. Esta característica — la formación de la capacidad integral depende de la contribución de cada sistema individual, pero el fallo o colapso de cualquier sistema individual puede finalmente destruir la capacidad general de desarrollo sostenible — se ha convertido en un punto de atención esencial en la construcción de la capacidad de desarrollo sostenible.

Por lo tanto, en el sistema estructural de la capacidad de desarrollo sostenible, se pueden distinguir aproximadamente las siguientes capacidades de soporte:

Una vez que se cumplen todos estos cinco elementos, se puede hacer un juicio integral sobre la capacidad de desarrollo sostenible de un país o región, y también se puede comparar de manera completa el potencial de desarrollo sostenible futuro de diferentes países o regiones. Así, se puede establecer una serie de secuencias unificadas para medir la capacidad y el nivel de desarrollo sostenible.

3 Seleccionar indicadores de evaluación

Elegir las variables adecuadas no solo mejora la eficacia y precisión del modelo DEA, sino que también proporciona información valiosa para los responsables de la formulación de políticas, ayudándoles a diseñar políticas urbanas y de gestión eficaces. Esto contribuye al uso eficiente de los recursos, reduce la carga ambiental y mejora la atención social a los residentes. Por ejemplo, al seleccionar indicadores clave que reflejen la tasa de desempleo, los indicadores ambientales, el PIB y las emisiones de dióxido de carbono, los responsables de políticas pueden entender mejor el rendimiento de la ciudad en términos de desarrollo sostenible y, así, implementar medidas de mejora específicas. En resumen, la elección y uso de indicadores representativos es esencial para una evaluación precisa del rendimiento de desarrollo sostenible de las ciudades y para la formulación de políticas efectivas. Esto no solo ayuda a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, sino que también proporciona una base sólida para mejorar la calidad de vida y el medio ambiente en las ciudades.

Muchas investigaciones han evaluado el desempeño de sostenibilidad de las ciudades utilizando DEA. Por ejemplo, Gonzalez-Garcia y sus colegas (2018) utilizaron el análisis de flujo de materiales (MFA), la evaluación del ciclo de vida (LCA) y DEA para analizar 31 variables, y seleccionaron 7 para evaluar la sostenibilidad de las ciudades españolas. Yang y otros (2016) combinaron el marco de metabolismo urbano con un modelo DEA de salidas no deseadas para analizar la sostenibilidad de 22 ciudades taiwanesas. Kourtit y su equipo (2017) rastrearon el desempeño relativo de sostenibilidad de 39 ciudades mundiales en el índice de poder de las ciudades globales, utilizando DEA para una evaluación transparente y cuantitativa. Chen y Lam (2018) propusieron un método DEA de dos etapas para evaluar la sostenibilidad de ciudades portuarias, evaluando 20 de las principales ciudades portuarias de contenedores del mundo. Wang y sus colegas (2022) establecieron un marco para el desarrollo sostenible de ciudades chinas basado en múltiples indicadores. Liu y su equipo (2022) propusieron un nuevo método basado en DEA, evaluando la sostenibilidad de las ciudades chinas desde tres perspectivas: combinando la eficiencia económica y ambiental, determinando medidas basadas en la tecnología y midiendo la desigualdad de eficiencia entre ciudades. La evaluación del desempeño de sostenibilidad urbana utiliza varios indicadores para considerar diferentes aspectos como la movilidad económica, la organización social y la protección ambiental. Elegir correctamente los indicadores es clave para una evaluación de sostenibilidad precisa, ya que usar diferentes indicadores puede llevar a resultados y desempeños distintos.

El Análisis de la Envoltura de Datos (DEA) es un método no paramétrico utilizado para evaluar la eficiencia de las unidades de toma de decisiones (DMU). Este método convierte múltiples entradas y salidas en entradas y salidas virtuales y utiliza técnicas de programación

lineal para calcular la eficiencia de cada DMU. En DEA, la selección de variables adecuadas es crucial, ya que estas variables impactan directamente en la efectividad y la capacidad de discriminación del modelo. En los documentos encontrados, se presenta un método basado en el Análisis Multicriterio de Decisiones (MCDA), propuesto por Roy y Bouyssou (1993), para optimizar el proceso de selección de variables en DEA. A continuación, se detallan los pasos específicos del método de selección de variables:

3.2.1. Selección Inicial Primero, se selecciona una variable de entrada y una de salida de entre todas las variables candidatas, para formar parte del modelo DEA inicial. Estas variables iniciales deben tener una alta correlación y representar los elementos clave del estudio.

3.2.2. Introducción Gradual de Variables Luego, se introducen gradualmente las variables candidatas restantes, una a la vez, en el modelo DEA. Con cada nueva variable, se calcula la eficiencia de cada DMU y se analiza el impacto de la nueva variable en el modelo.

3.2.3. Cálculo de Indicadores Estandarizados Para cuantificar la contribución de cada variable, se calculan dos indicadores estandarizados:

- **SEF (Ajuste a la Frontera)**: Mide el ajuste a la frontera de eficiencia a través de la eficiencia media, estandarizando los valores para que 10 represente la máxima eficiencia y 0 la mínima eficiencia.

- **SDIS (Discriminación)**: Mide la discriminación a través del número de DMUs eficientes que se desea minimizar, estandarizando los valores para que 10 represente el menor número de DMUs en la frontera y 0 el mayor número.

3.2.4. Cálculo de la Puntuación Compuesta (S) Los indicadores SEF y SDIS se combinan en un solo criterio mediante la suma ponderada de sus respectivos valores estandarizados. La puntuación compuesta (S) se calcula utilizando la fórmula:

$$S = w \cdot SEF + (1 - w) \cdot SDIS$$

Donde w generalmente se establece en 0.5 para equilibrar la influencia de ambos criterios. La puntuación compuesta S se utiliza para evaluar la contribución de cada variable al modelo global.

3.2.5. Selección de Variables En cada iteración, se selecciona la variable con el mayor valor de S para ser incluida en el modelo. Este proceso se repite hasta que el número de variables incluidas alcance un tercio del número de DMUs, o hasta que se cumpla un criterio de parada

predefinido.

- **Axioma de Exhaustividad:** Propuesto por Roy y Bouyssou (1993), asegura que las variables seleccionadas representen adecuadamente la situación real de las DMUs, cubriendo todos los aspectos relevantes.

- **Axioma de No Redundancia:** También propuesto por Roy y Bouyssou (1993), elimina variables que ya están representadas por otros criterios, evitando redundancias y mejorando la capacidad de discriminación del modelo.

- **Axioma de Cohesión:** Asegura que las variables de entrada deben ser minimizadas y las de salida maximizadas, manteniendo la consistencia del modelo.

Este método permite equilibrar el ajuste a la frontera de eficiencia y la discriminación, seleccionando las variables que mejor evalúan la eficiencia de las DMUs. Esto no solo mejora la precisión y la efectividad del modelo DEA, sino que también proporciona información valiosa para los tomadores de decisiones.

Ricardo Rebolledo-Leiva a, Leonardo Vasquez-Ibarra et al determinaron 11 indicadores clave (3 entradas y 8 salidas) basados en el método de selección de variables para evaluar la sostenibilidad de las ciudades españolas. Los insumos seleccionados incluyen el alquiler promedio por metro cuadrado (económico), el ingreso promedio del hogar (económico) y el porcentaje de la población en riesgo de pobreza (social). Para las variables de resultado, los resultados deseados incluyen la relación entre vehículos privados y públicos (económico) y el PIB per cápita (económico). En cuanto a los resultados adversos, estos incluyen densidad de población (social), NO₂ (ambiental), PM10 (ambiental), ozono (ambiental), número de casos registrados de violencia de género (social) y deuda (económica) . Debido a la base teórica, en este estudio seleccioné estos 11 indicadores para su posterior análisis. La Tabla A1 en la sección Apéndice muestra las variables seleccionadas en este artículo.

Cuadro 2: Clasificación de los indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de las ciudades españolas

| Variable | Clasificación |
|---|------------------------------|
| Precio medio de alquiler por m2 (económico) | Entrada (x_1) |
| Ingreso medio del hogar (económico) | Entrada (x_2) |
| Porcentaje de población en riesgo de pobreza (social) | Entrada (x_3) |
| Relación de vehículos públicos/privados (económico) | Salida deseable (y_1) |
| PIB per cápita (económico) | Salida deseable (y_2) |
| Densidad de población (social) | Salida no deseable (y_3) |
| NO ₂ (ambiental) | Salida no deseable (y_4) |
| PM10 (ambiental) | Salida no deseable (y_5) |
| Ozono (ambiental) | Salida no deseable (y_6) |
| Número de casos registrados de violencia de género (social) | Salida no deseable (y_7) |
| Endeudamiento (económico) | Salida no deseable (y_8) |

V.Fuente y procesamiento de datos

España se encuentra principalmente en el suroeste de Europa, pero también tiene territorios en el norte de África. En Europa, ocupa la mayor parte de la península ibérica (conocida como la península de España) y las Islas Baleares (ubicadas en el mar Mediterráneo). En África, tiene ciudades como Ceuta y Melilla, las Islas Canarias (ubicadas en el océano Atlántico) y varios territorios conocidos como "plazas de soberanía" en el mar Mediterráneo. La ciudad de Llívia se encuentra en los Pirineos y es un enclave completamente rodeado por territorio francés. Este conjunto de territorios incluye una serie de islas e islotes cerca de la costa peninsular. Su área es de 505,370 km², lo que la convierte en el cuarto país más grande del continente europeo, con una altitud media de 650 m, siendo uno de los países más montañosos de Europa. A pesar de que su densidad de población ha disminuido en comparación con Europa, su población casi alcanza los 48.5 millones. En concreto, al 1 de enero de 2024, la población alcanzó los 48,592,909 habitantes.



Figura 1: Provincia de España

Ya que en un modelo DEA, el número de DMU debe ser al menos tres veces el número de variables. Seleccioné 33 ciudades españolas para el análisis. Estas ciudades están ubicadas en diferentes regiones de España y pueden reflejar plenamente las condiciones económicas, sociales y ambientales de cada región. Todos los datos proceden de fuentes oficiales y bases

de datos de indicadores fiables, como el Instituto Nacional de Estadística (INE), estadísticas oficiales de diversas ciudades y bases de datos de organismos internacionales como Eurostat, el Banco Mundial y las Naciones Unidas. Para garantizar la precisión y eficacia del análisis de datos, se utilizará el lenguaje R para el procesamiento y cálculo de datos, incluida la limpieza, organización, análisis estadístico y visualización de datos. Este enfoque garantiza que los datos recopilados y procesados sean precisos, confiables y representativos, proporcionando una base sólida para este estudio. A continuación se muestran los datos encontrados. Primero puse los datos en un análisis descriptivo para que pudiéramos ver las diferencias entre ciudades para cada métrica.

| Variable | Min. | 1st Qu. | Median | Mean | 3rd Qu. | Max. |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Alquiler_m2 | 5.000 | 6.300 | 7.400 | 8.673 | 10.000 | 21.600 |
| Renta_hogar | 27930 | 35475 | 42461 | 44122 | 52202 | 80609 |
| Pobreza_pct | 0.0800 | 0.1500 | 0.1900 | 0.2082 | 0.2900 | 0.3800 |
| Densidad_Pob | 105 | 684 | 1640 | 6945 | 6375 | 63534 |
| PIB_per_capita | 15748 | 19067 | 22492 | 23978 | 27994 | 41900 |
| Ratio_Vehiculos | 0.001000 | 0.002000 | 0.003000 | 0.003394 | 0.003000 | 0.011000 |
| NO2 | 5.16 | 16.83 | 22.05 | 23.54 | 27.25 | 53.21 |
| PM10 | 7.50 | 13.27 | 19.10 | 20.84 | 25.40 | 56.10 |
| Ozone | 39.80 | 50.70 | 61.80 | 68.38 | 75.73 | 148.00 |
| Violencia_genero | 0.900 | 2.450 | 3.000 | 3.372 | 4.350 | 6.490 |
| Endeudamiento | 3.0 | 254.0 | 321.0 | 434.5 | 611.0 | 1363.0 |

Cuadro 3: Descriptive Statistics of Variables

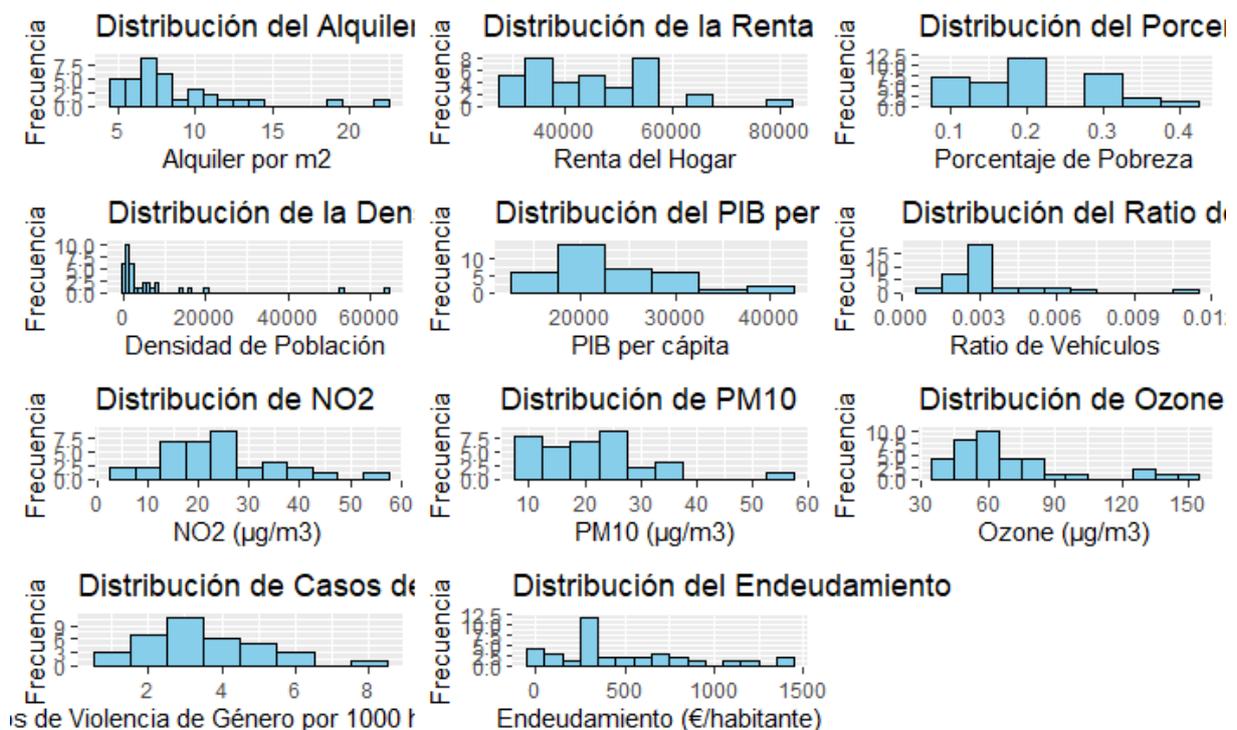


Figura 2: Histograma

Esta descripción estadística resume las principales variables de 31 ciudades. El valor promedio del alquiler es de 7.56 €/m², con un rango que va desde 5.00 €/m² hasta 13.10 €/m², lo que refleja diferencias significativas en los niveles de alquiler entre las ciudades. El ingreso promedio del hogar es de 46,783 euros, con un rango que va desde 29,648 euros hasta 80,609 euros, indicando una gran variabilidad en los ingresos familiares entre las ciudades. La tasa promedio de pobreza es del 20.1 %, con un rango que va del 8 % al 37 %, lo que muestra diferencias significativas en las condiciones de pobreza en distintas ciudades. La densidad poblacional promedio es de 2824 personas/km², pero el rango es amplio, desde 105 personas/km² hasta 20,466 personas/km², lo que indica diferencias notables en la distribución poblacional entre ciudades. El PIB per cápita promedio es de 23,499 euros, con un rango que va desde 15,748 euros hasta 41,900 euros, reflejando diferencias en los niveles de desarrollo económico. La proporción de vehículos tiene un valor promedio de 0.003258, indicando una baja proporción de vehículos públicos y privados. Los valores promedio de los contaminantes del aire NO₂ y PM₁₀ son 24.95 µg/m³ y 21.69 µg/m³ respectivamente, mientras que el valor promedio del ozono es de 68.16 µg/m³, lo que indica diferencias significativas en la calidad del aire entre las ciudades. El promedio de casos de violencia de género es de 3.74 por cada 1000 habitantes, con un rango que va desde 1.35 hasta 7.54, reflejando diferencias en la cantidad de casos de violencia de género entre las ciudades. La deuda promedio es de 456.5 euros por habitante, con un rango que va desde 3 euros hasta 1387 euros, mostrando diferencias significativas en la situación fiscal de las ciudades. Estas estadísticas descriptivas proporcionan una comprensión preliminar de las variables económicas, sociales y ambientales entre las ciudades, revelando diferencias significativas en varios aspectos y proporcionando una referencia importante para análisis y formulación de políticas futuras.

Luego de realizar un análisis de componentes principales (PCA) sobre los datos, se seleccionaron los indicadores más importantes para evaluar el desarrollo sostenible. Este análisis permitió identificar cuáles son las variables que más contribuyen a la variabilidad de los datos, permitiéndonos enfocar en los factores clave sin perder información significativa. Los primeros componentes principales, que explican la mayor parte de la varianza, fueron utilizados para simplificar los datos y destacar los indicadores críticos para el desarrollo sostenible. De esta manera, podemos asegurar que las decisiones y políticas se basen en los aspectos más relevantes y con mayor impacto en la sostenibilidad.

El gráfico muestra el porcentaje de varianza explicada por los primeros 10 componentes principales. El primer componente principal explica el 23.9 % de la varianza total, y el segundo componente principal explica el 18.4 % de la varianza total. Los dos primeros componentes principales juntos explican el 42.3 % de la varianza total. A medida que aumentan los componentes principales, la varianza explicada por cada componente disminuye gradualmente, hasta el décimo componente, que explica el 1.9 % de la varianza. Según el gráfico, los primeros tres

componentes principales tienen una varianza explicada relativamente alta, superando el 50 % de la varianza total, lo que indica que juegan un papel significativo en la estructura general del conjunto de datos. Los componentes principales restantes explican menos varianza y su contribución disminuye gradualmente. Por lo tanto, se puede considerar que los primeros componentes principales son los más importantes y representan bien las principales características de variación del conjunto de datos.

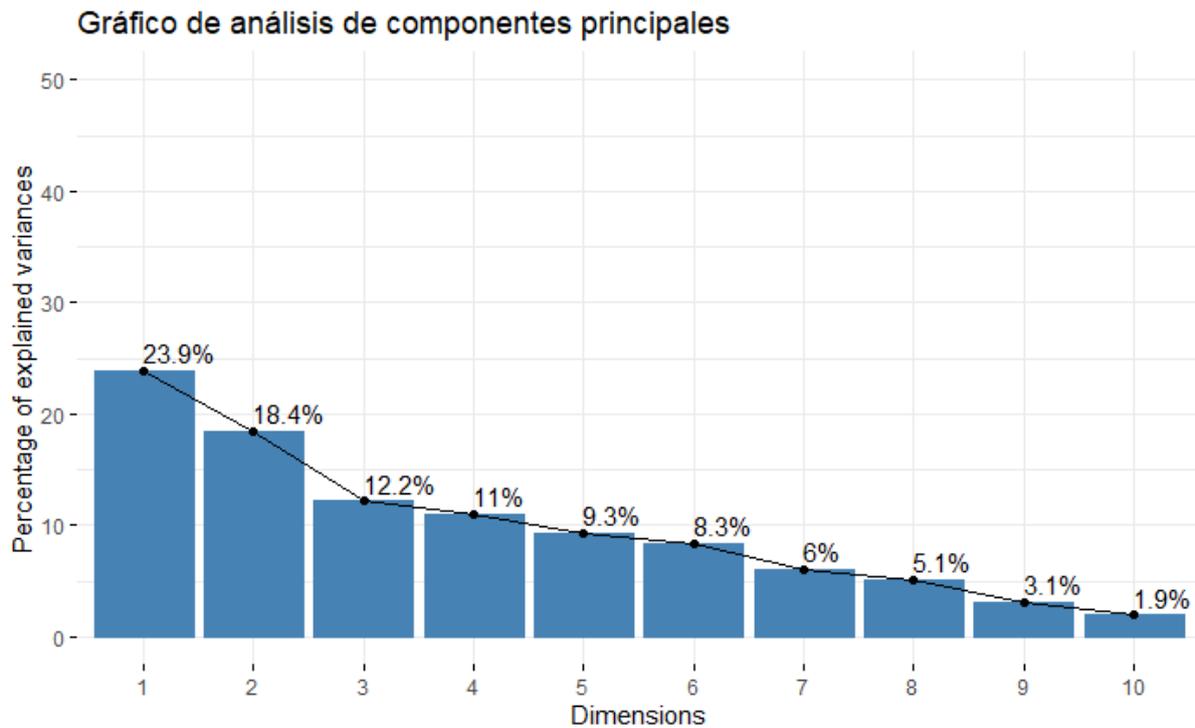


Figura 3: Gráfico de análisis de componentes principales

1. Matriz de coeficientes de correlación

| | Alquiler_m2 | Renta_hogar | Pobreza_pct | Densidad_Pob | PIB_per_capita |
|------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| Alquiler_m2 | 1.000 | -0.197 | 0.122 | 0.893 | 0.151 |
| Renta_hogar | -0.197 | 1.000 | 0.051 | -0.196 | -0.371 |
| Pobreza_pct | 0.122 | 0.051 | 1.000 | 0.015 | -0.325 |
| Densidad_Pob | 0.893 | -0.196 | 0.015 | 1.000 | 0.149 |
| PIB_per_capita | 0.151 | -0.371 | -0.325 | 0.149 | 1.000 |
| Ratio_Vehiculos | 0.341 | -0.087 | 0.123 | 0.278 | 0.058 |
| NO2 | 0.182 | -0.093 | -0.326 | 0.118 | 0.198 |
| PM10 | 0.079 | 0.240 | -0.007 | -0.024 | -0.075 |
| Ozone | 0.079 | 0.083 | 0.281 | 0.020 | -0.319 |
| Violencia_genero | -0.250 | 0.272 | 0.333 | -0.436 | -0.225 |
| Endeudamiento | 0.139 | 0.211 | 0.302 | 0.077 | 0.175 |

Cuadro 4: Matriz de coeficientes de correlación (Parte 1)

| | Ratio_Vehiculos | NO2 | PM10 | Ozone | Violencia_genero | Endeudamiento |
|------------------|-----------------|--------|--------|--------|------------------|---------------|
| Alquiler_m2 | 0.341 | 0.182 | 0.079 | 0.079 | -0.250 | 0.139 |
| Renta_hogar | -0.087 | -0.093 | 0.240 | 0.083 | 0.272 | 0.211 |
| Pobreza_pct | 0.123 | -0.326 | -0.007 | 0.281 | 0.333 | 0.302 |
| Densidad_Pob | 0.278 | 0.118 | -0.024 | 0.020 | -0.436 | 0.077 |
| PIB_per_capita | 0.058 | 0.198 | -0.075 | -0.319 | -0.225 | 0.175 |
| Ratio_Vehiculos | 1.000 | 0.060 | -0.014 | -0.157 | -0.092 | -0.130 |
| NO2 | 0.060 | 1.000 | 0.082 | -0.034 | -0.019 | -0.233 |
| PM10 | -0.014 | 0.082 | 1.000 | 0.081 | 0.349 | 0.230 |
| Ozone | -0.157 | -0.034 | 0.081 | 1.000 | 0.170 | 0.371 |
| Violencia_genero | -0.092 | -0.019 | 0.349 | 0.170 | 1.000 | 0.190 |
| Endeudamiento | -0.130 | -0.233 | 0.230 | 0.371 | 0.190 | 1.000 |

Cuadro 5: Matriz de coeficientes de correlación (Parte 2)

| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 | PC7 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alquiler_m2 | -0.029 | 0.618 | -0.060 | 0.040 | -0.016 | 0.195 | -0.109 |
| Renta_hogar | -0.396 | -0.048 | -0.131 | -0.143 | 0.329 | 0.612 | -0.340 |
| Pobreza_pct | -0.468 | -0.018 | -0.306 | -0.044 | -0.159 | -0.217 | -0.056 |
| Densidad_Pob | 0.086 | 0.549 | -0.050 | -0.149 | 0.299 | 0.034 | -0.047 |
| PIB_per_capita | 0.393 | 0.095 | 0.390 | 0.438 | -0.124 | 0.176 | -0.148 |
| Ratio_Vehiculos | 0.062 | 0.159 | -0.531 | 0.227 | -0.624 | 0.341 | 0.196 |
| NO2 | 0.247 | 0.347 | 0.108 | -0.531 | -0.153 | -0.064 | -0.020 |
| PM10 | -0.249 | 0.251 | 0.049 | 0.410 | 0.383 | -0.026 | 0.650 |
| Ozone | -0.332 | 0.079 | 0.386 | -0.396 | -0.328 | 0.017 | 0.419 |
| Violencia_genero | -0.310 | 0.298 | 0.023 | 0.268 | -0.139 | -0.551 | -0.426 |
| Endeudamiento | -0.359 | 0.024 | 0.536 | 0.180 | -0.274 | 0.288 | -0.167 |

Según los resultados de la matriz de correlación calculada, podemos concluir lo siguiente:

En primer lugar, los precios de alquiler (Alquiler_m2) tienen una correlación positiva significativa con la densidad de población (Densidad_Pob) y los ingresos familiares (Renta_hogar), con coeficientes de 0.893 y 0.151 respectivamente, lo que indica que en áreas con alta densidad de población y mayores ingresos familiares, los precios de alquiler son más altos. Además, los precios de alquiler también muestran una correlación positiva con la proporción de vehículos (Ratio_Vehiculos) y la concentración de NO2, con coeficientes de 0.341 y 0.182, lo que sugiere que en áreas con una mayor proporción de vehículos y niveles más altos de contaminación del aire, los precios de alquiler pueden ser más altos.

Los ingresos familiares (Renta_hogar) tienen una correlación positiva significativa con el PIB per cápita (PIB_per_capita), con un coeficiente de -0.371, lo que indica que las áreas con mayores ingresos familiares suelen tener un PIB más alto. Además, la correlación entre los

ingresos familiares y la tasa de pobreza (Pobreza_pct) es de 0.051, lo que, aunque débil, sugiere que en áreas con mayores ingresos, la tasa de pobreza es más baja.

La tasa de pobreza (Pobreza_pct) muestra una correlación negativa significativa con el PIB (PIB_per_capita), con un coeficiente de -0.325, lo que indica que en áreas con tasas de pobreza más altas, el PIB es más bajo. Además, la tasa de pobreza tiene correlaciones con la concentración de NO2 y la concentración de PM10 de -0.326 y -0.007 respectivamente, lo que sugiere que en áreas con tasas de pobreza más altas, la calidad del aire puede ser peor.

La densidad de población (Densidad_Pob) tiene una correlación fuerte con los precios de alquiler (Alquiler_m2) y los ingresos familiares (Renta_hogar), con coeficientes de 0.893 y 0.278 respectivamente, lo que indica que en áreas con alta densidad de población, los precios de alquiler y los ingresos familiares son más altos. Además, la densidad de población muestra una correlación con la contaminación del aire (concentración de NO2) de 0.118, lo que sugiere que en áreas con alta densidad de población, los niveles de contaminación del aire pueden ser más altos.

Por último, la deuda (Endeudamiento) tiene correlaciones significativas con la concentración de ozono (Ozone) y el número de casos de violencia de género (Violencia_genero), con coeficientes de 0.371 y 0.190 respectivamente, lo que indica que en áreas con mayores niveles de deuda, la concentración de ozono y los casos de violencia de género pueden ser más altos.

| Eigenvalues | Variance | Cumulative Variance |
|--------------------|-----------------|----------------------------|
| 2.630 | 0.239 | 0.239 |
| 2.028 | 0.184 | 0.423 |
| 1.338 | 0.122 | 0.545 |
| 1.207 | 0.110 | 0.655 |
| 1.028 | 0.093 | 0.748 |
| 0.918 | 0.083 | 0.832 |
| 0.657 | 0.060 | 0.891 |
| 0.560 | 0.051 | 0.942 |
| 0.345 | 0.031 | 0.974 |
| 0.212 | 0.019 | 0.993 |
| 0.077 | 0.007 | 1.000 |

Cuadro 6: Eigenvalues, Variance, and Cumulative Variance

Según los resultados del análisis de componentes principales, se puede concluir lo siguiente:

Los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2) tienen valores propios de 2.630 y 2.028, respectivamente, explicando el 23.9 % y el 18.4 % de la varianza. La varianza acumulada alcanza el 42.3 %, lo que indica que los dos primeros componentes capturan aproximadamente el

42.3 % de la información de los datos. Los cuatro primeros componentes principales (PC1, PC2, PC3 y PC4) explican el 65.5 % de la varianza acumulada, lo que demuestra que estos cuatro componentes pueden capturar la mayor parte de la información importante de los datos. A medida que disminuyen los valores propios, la contribución de la varianza de los componentes subsiguientes disminuye gradualmente; por ejemplo, el séptimo componente principal solo explica el 6 % de la varianza. Los tres últimos componentes principales tienen valores propios de 0.345, 0.212 y 0.077, respectivamente, con una baja contribución a la varianza, lo que indica que estos componentes son relativamente menos importantes en los datos.

Los primeros cinco componentes principales explican aproximadamente el 75 % de la varianza total (0.748). Por lo tanto, seleccionamos los primeros cinco componentes principales para el análisis.

1. **PC1 (Primer Componente Principal):** Principalmente cargado por **precio del alquiler (Alquiler_m2)** y **densidad de población (Densidad_Pob)**, indicando que este componente representa principalmente el impacto de la urbanización y el costo de vida.
2. **PC2 (Segundo Componente Principal):** Principalmente cargado por **ingreso familiar (Renta_hogar)** y **tasa de pobreza (Pobreza_pct)**, reflejando el impacto de la situación económica y los problemas sociales.
3. **PC3 (Tercer Componente Principal):** Principalmente cargado por **endeudamiento (Endeudamiento)** y **concentración de ozono (Ozone)**, indicando que este componente se enfoca en la salud financiera y la contaminación ambiental.
4. **PC4 (Cuarto Componente Principal):** Principalmente cargado por **concentración de dióxido de nitrógeno (NO2)** y **concentración de PM10 (PM10)**, reflejando el impacto de la contaminación del aire en la calidad de vida urbana.
5. **PC5 (Quinto Componente Principal):** Principalmente cargado por **ingreso familiar (Renta_hogar)** y **proporción de vehículos (Ratio_Vehiculos)**, indicando que este componente refleja principalmente el nivel económico y las condiciones del tráfico.

VI. Evaluación de la sostenibilidad de las ciudades españolas

1. Proceso de cálculo

En este estudio, los indicadores seleccionados se examinaron a través del PCA anterior y luego los indicadores seleccionados se incorporaron al modelo DEA para su análisis.

El modelo DDF se utilizó dos veces: primero para seleccionar indicadores clave para evaluar la sostenibilidad de una ciudad y segundo para determinar su nivel de ecoeficiencia. A estas alturas, es importante señalar que el modelo DDF utilizado para el método de selección de variables no tiene en cuenta los resultados indeseables, ya que el método se centra en la selección de variables en lugar de evaluar la eficiencia. Por el contrario, para evaluar el desempeño de la ecoeficiencia, el modelo DDF considera resultados indeseables. Los conjuntos, parámetros y variables de decisión para esta formulación se definen en la Tabla 7.

Cuadro 7: Nomenclatura utilizada en el modelo de Función de Distancia Direccional (DDF) con outputs indeseables.

| Conjuntos y parámetros | Descripción |
|------------------------------|--|
| N | Conjunto de J ciudades analizadas |
| x_{ij} | Input i de la ciudad j, $j \in N$ |
| y_{rj} | Output deseable r de la ciudad j, $j \in N$ |
| b_{pj} | Output indeseable p de la ciudad j, $j \in N$ |
| g_x | Vector direccional del input i |
| g_y | Vector direccional del output deseable y |
| g_b | Vector direccional del output indeseable b |
| Variables de decisión | |
| β | Medida de la ineficiencia |
| λ_j | Variable de intensidad de la ciudad j, $j \in N$ |

La formulación matemática del modelo DDF que considera outputs deseables e indeseables se presenta en las Ecuaciones (1)-(6). Además, se considera un retorno variable a escala (VRS), lo que significa que cuando un aumento proporcional en todos los inputs resulta en un aumento

no proporcional en los outputs (Cooper et al., 2007).

$$\text{máx } \beta \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} - \beta g_{xi} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{rj} \geq y_{r0} + \beta g_{yr} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j b_{pj} = b_{p0} - \beta g_{bp} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \quad (5)$$

$$\lambda_j \geq 0, \beta \text{ es no restringido} \quad (6)$$

En el modelo DDF, la función objetivo (1) busca determinar la distancia al frente eficiente. La restricción (2) implica la reducción de inputs en la dirección del vector g_x , la restricción (3) implica el aumento de outputs deseables en la dirección del vector g_y y la restricción (4) busca reducir los outputs indeseables en la dirección del vector g_b . La restricción (5) impone retornos variables a escala. Finalmente, la restricción (6) representa la naturaleza de las variables de decisión.

Basado en el uso combinado de estos métodos, se espera proporcionar un sistema de referencia urbana para apoyar la adopción de políticas destinadas a lograr el desarrollo sostenible de las ciudades y determinar las mejores estrategias que puedan servir como ejemplos para ciudades no eco-eficientes (es decir, benchmarking). Así, el uso eficiente de los recursos podría mejorar la oferta de servicios sociales para sus habitantes, aumentando su calidad de vida.

VII. Conclusión

Tras seleccionar los indicadores, se aplica el modelo DDF para obtener las puntuaciones de eficiencia ecológica de las ciudades españolas, así como los objetivos de insumos y productos de las ciudades ineficientes. Por lo tanto, 24 ciudades fueron identificadas como ciudades no ecológicamente eficientes y las 9 ciudades restantes fueron identificadas como ciudades ecológicamente eficientes (ver Cuadro 8).

| Ciudad | Eff | Ciudad | Eff |
|------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Barcelona | 0.000 | Malaga | 2324.052 |
| Madrid | 0.000 | Murcia | 1170.922 |
| Sevilla | 0.000 | Palma de Mallorca | 2507.332 |
| Zaragoza | 0.000 | Las Palmas de Gran Canaria | 0.000 |
| Valencia | 15816.618 | Bilbao | 0.000 |
| Alicante | 1759.568 | Cordoba | 832.128 |
| Valladolid | 1689.048 | Vigo | 2691.326 |
| Gijon | 1401.987 | L'Hospitalet de Llobregat | 20711.958 |
| Vitoria-Gasteiz | 1361.998 | A Coruna | 6643.262 |
| Oviedo | 780.722 | Santa Cruz de Tenerife | 0.000 |
| Pamplona | 7593.807 | Burgos | 2647.788 |
| Albacete | 475.632 | Santander | 5199.842 |
| Logrono | 1933.888 | Badajoz | 231.896 |
| Huelva | 2334.622 | Tarragona | 3250.838 |
| Ourense | 0.000 | Lugo | 0.000 |
| Santiago de Compostela | 576.848 | Toledo | 558.458 |
| Pontevedra | 644.538 | | |

Cuadro 8: Puntajes de desempeño ecoeficiente de las ciudades españolas

En el modelo DDF, el valor de *eff* (es decir, la puntuación de eficiencia) representa el nivel de eficiencia ecológica de cada ciudad. La explicación específica es la siguiente:

Ciudades Eficientes ($eff = 0$)

- Estas ciudades han alcanzado el estado óptimo en términos de uso de recursos y protección ambiental, es decir, han maximizado la producción deseada y minimizado la producción no deseada con los recursos y condiciones existentes.
- Las ciudades eficientes significan que han alcanzado la frontera de eficiencia ecológica, con una alta tasa de utilización de recursos y un bajo impacto ambiental.

Ciudades No Eficientes ($eff > 0$)

- Estas ciudades tienen un rendimiento deficiente en términos de uso de recursos y protección ambiental, y necesitan mejorar.
- Cuanto mayor sea el valor de *eff*, mayor será la distancia de la ciudad a la frontera de eficiencia ecológica, y se necesitarán más esfuerzos para mejorar su rendimiento en el uso de recursos y la protección ambiental.
- Las ciudades no eficientes pueden referirse a las ciudades eficientes (de referencia) para formular medidas y objetivos de mejora con el fin de lograr un desarrollo sostenible.

Con base en la puntuación de eficiencia (*eff*) en el modelo DDF, podemos sacar las siguientes conclusiones: En términos de utilización de recursos y protección ambiental, entre las ciudades eficientes ($eff = 0$) se encuentran Barcelona, Madrid, Sevilla, Zaragoza, Las Palmas de Gran Canaria, Bilbao, Santa Cruz de Tenerife, Ourense y Lugo. Estas ciudades han maximizado la producción esperada bajo las condiciones y recursos existentes y al mismo tiempo han minimizado la producción indeseable, alcanzando la vanguardia de la eficiencia ecológica, con una alta utilización de recursos y un bajo impacto ambiental.

Por el contrario, ciudades no eficientes ($eff > 0$) como Valencia, Málaga, Murcia, Palma de Mallorca, Alicante, Córdoba, Valladolid, Vigo, Gijón, L'Hospitalet de Llobregat, Vitoria-Gasteiz, A Coruña, Oviedo, Pamplona, Burgos, Albacete, Santander, Logroño, Badajoz, Huelva, Tarragona, Santiago de Compostela y Toledo obtienen malos resultados en términos de utilización de recursos y protección ambiental y necesitan mejoras. Cuanto mayor sea el valor de *eff*, más alejadas estarán estas ciudades de la frontera de eficiencia ecológica y se necesitarán más esfuerzos para mejorar su utilización de recursos y su desempeño en protección ambiental. Las ciudades no eficientes pueden desarrollar medidas y objetivos de mejora para lograr el desarrollo sostenible haciendo referencia a ciudades eficientes (puntos de referencia).

Según el valor gamma en el modelo DDF, gamma representa el valor del vector de dirección relacionado con la producción indeseable, lo que refleja la cantidad de producción indeseable que debe reducirse para lograr la eficiencia ecológica. Al analizar el valor gamma, podemos comprender qué aspectos deben mejorar las diferentes ciudades para lograr la eficiencia ecológica. Las siguientes son las conclusiones sobre las ciudades basadas en valores gamma:

| City | Col2 | Col3 | Col4 | Col5 | Col6 | Col7 |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|
| Barcelona | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Madrid | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Sevilla | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Zaragoza | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Valencia | 15446.600 | 10.300000 | 8.35000 | 59.05000 | 0.400000 | 280.8000 |
| Malaga | 1321.400 | 22.250000 | 22.42000 | 112.04000 | 4.640000 | 833.2000 |
| Murcia | 385.400 | 26.390000 | 30.72000 | 29.54000 | 3.650000 | 690.2000 |
| Palma de Mallorca | 1703.791 | 6.907242 | 28.27537 | 0.00000 | 3.401889 | 756.9191 |
| Las Palmas de Gran Canaria | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |

| | | | | | | |
|---------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Bilbao | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Alicante | 1463.600 | 11.550000 | 19.68000 | 17.86000 | 4.690000 | 237.8000 |
| Cordoba | 83.600 | 17.830000 | 22.08000 | 109.06000 | 1.040000 | 594.8000 |
| Valladolid | 1337.600 | 16.670000 | 12.58000 | 9.86000 | 1.030000 | 307.8000 |
| Vigo | 2580.200 | 39.000000 | 10.76000 | 50.62000 | 3.160000 | 0.6000 |
| Gijon | 1015.676 | 16.434865 | 16.03784 | 18.32432 | 1.960541 | 329.1081 |
| L'Hospitalet de Llobregat | 20289.600 | 28.790000 | 19.38000 | 56.06000 | 3.310000 | 304.8000 |
| Vitoria-Gasteiz | 699.600 | 35.200000 | 10.98000 | 42.86000 | 1.230000 | 567.8000 |
| A Coruna | 6257.400 | 17.150000 | 52.82000 | 47.14000 | 1.830000 | 262.2000 |
| Oviedo | 472.400 | 14.380000 | 19.52000 | 13.84000 | 1.550000 | 254.2000 |
| Santa Cruz de Tenerife | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Pamplona | 7266.609 | 16.841087 | 10.40652 | 28.70870 | 1.872609 | 263.3043 |
| Burgos | 1463.600 | 6.500000 | 9.58000 | 23.06000 | 0.950000 | 1140.8000 |
| Albacete | 23.400 | 8.570000 | 22.12000 | 35.84000 | 1.230000 | 381.2000 |
| Santander | 4829.400 | 21.630000 | 20.32000 | 20.44000 | 2.530000 | 299.2000 |
| Logrono | 1729.600 | 9.900000 | 13.18000 | 8.06000 | 0.720000 | 169.8000 |
| Badajoz | 46.200 | 6.500000 | 12.46000 | 53.72000 | 4.230000 | 104.6000 |
| Huelva | 835.400 | 10.400000 | 25.52000 | 103.04000 | 4.130000 | 1352.2000 |
| Tarragona | 2095.600 | 14.450000 | 14.18000 | 15.86000 | 2.870000 | 1102.8000 |
| Ourense | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Lugo | 0.000 | 0.000000 | 0.00000 | 0.00000 | 0.000000 | 0.0000 |
| Santiago de Compostela | 263.600 | 15.450000 | 6.58000 | 34.06000 | 0.100000 | 254.8000 |
| Toledo | 184.600 | 13.730000 | 16.28000 | 17.16000 | 0.650000 | 322.8000 |
| Pontevedra | 507.600 | 26.500000 | 5.98000 | 17.66000 | 0.200000 | 83.8000 |

Cuadro 9: Valor GAMMA de la ciudad

Muchas ciudades necesitan mejoras significativas en lo que respecta al uso de recursos y la protección del medio ambiente. Valladolid tiene un desempeño deficiente en múltiples indicadores de producción adversos, lo que requiere reducciones significativas en el número de vehículos, NO₂, PM₁₀, ozono, incidentes de violencia doméstica y deuda de los hogares. Se recomienda fortalecer la gestión del tráfico, reducir el número de vehículos y mejorar el sistema de transporte público; implementar medidas estrictas de control de la contaminación del aire para reducir las emisiones de NO₂ y PM₁₀; promover el ajuste de la estructura energética para reducir la generación de ozono; deuda de los hogares. Valencia y Gijón necesitan principalmente reducir el número de vehículos. Optimizar la planificación del transporte y promover el transporte público y los viajes no motorizados, especialmente la promoción de vehículos de nueva energía, puede mejorar significativamente la eficiencia ecológica de estas dos ciudades.

A Coruña también necesita reducir el número de vehículos y recomienda optimizar la estructura del tráfico urbano para reducir el uso del vehículo privado y aumentar el atractivo y uso del transporte público. Pamplona y Logroño enfrentan problemas similares y necesitan reducir la cantidad de vehículos y la contaminación del tráfico mediante la implementación de políticas de transporte verdes y sistemas de transporte inteligentes. Medidas como promover los viajes ecológicos, aumentar la conveniencia y la cobertura del transporte público, promover políticas de zonas de bajas emisiones y promover vehículos de nuevas energías pueden resolver eficazmente estos problemas.

VIII.Recomendaciones para el desarrollo sostenible en España

Para lograr el desarrollo sostenible en las ciudades, primero es necesario reducir el número de vehículos y aumentar el uso del transporte público. Es crucial optimizar la planificación del transporte, aumentando la comodidad y cobertura del transporte público para que los ciudadanos puedan elegir fácilmente este medio de transporte. Además, fomentar el uso de medios no motorizados también es una medida importante. Proporcionar carriles seguros para bicicletas y un entorno peatonal adecuado puede incentivar a los ciudadanos a optar por caminar y andar en bicicleta, modos de transporte más ecológicos. Esto no solo puede reducir la congestión del tráfico, sino también disminuir significativamente las emisiones de carbono de la ciudad.

En segundo lugar, implementar estrictas medidas de control de la contaminación del aire es fundamental para mejorar la calidad ambiental urbana. Se debe reforzar la regulación de las emisiones industriales, asegurando que las empresas cumplan estrictamente con las normativas ambientales para reducir la emisión de gases nocivos. Al mismo tiempo, aumentar la eficiencia energética y promover el uso de energías limpias, como la solar y la eólica, puede reducir significativamente las emisiones de NO₂ y PM₁₀. Para reducir aún más la contaminación del tráfico, también es necesario implementar normas estrictas de emisiones de vehículos, eliminando gradualmente los vehículos de alta emisión y fomentando el desarrollo de vehículos eléctricos.

En el ámbito social, es igualmente importante fortalecer la gobernanza social y la construcción comunitaria. Se deben impulsar iniciativas para mejorar la seguridad comunitaria, tomando medidas efectivas para reducir la violencia y la tasa de criminalidad, creando un entorno comunitario seguro y armonioso. Además, mejorar la calidad de vida de los residentes y reducir la carga de la deuda familiar también son tareas importantes. Se puede lograr esto fortaleciendo el sistema de seguridad social, proporcionando más servicios sociales, como atención médica, educación y apoyo habitacional, para aumentar la felicidad y la seguridad de los ciudadanos.

Finalmente, promover el ajuste de la estructura energética es clave para lograr el desarrollo sostenible. Es necesario desarrollar enérgicamente las energías renovables y reducir la dependencia de los combustibles fósiles para disminuir las emisiones contaminantes desde la fuente. Asimismo, promover tecnologías y productos de ahorro energético para aumentar la eficiencia en el uso de la energía puede reducir tanto el consumo de energía como las emisiones de contaminantes. Para lograr un desarrollo bajo en carbono, también se deben implementar políticas de control del consumo total de energía, alentando a empresas y ciudadanos a adoptar modos de producción y vida sostenibles y eficientes en términos energéticos, contribuyendo conjuntamente al desarrollo sostenible.

IX.Limitaciones y aspectos a mejorar

Consistencia temporal de los datos: Debido a las limitaciones de las fuentes de datos, los datos utilizados en este estudio no provienen del mismo año, sino que abarcan varios años. Esto puede causar problemas de consistencia temporal y afectar la precisión de los resultados de la evaluación.

Integridad de los datos: La dificultad para obtener datos de algunos indicadores ha resultado en la ausencia de ciertos elementos en el sistema de evaluación. Esto puede afectar la evaluación integral de la capacidad de desarrollo sostenible de las ciudades.

Representatividad de la muestra: La cantidad limitada de ciudades seleccionadas como muestra puede no reflejar completamente la situación de desarrollo sostenible de todas las ciudades. En investigaciones futuras, se podría considerar aumentar el número de muestras para mejorar la universalidad de los resultados del estudio.

Determinación de los pesos de los indicadores: La asignación de pesos a los diferentes indicadores de evaluación en este estudio puede contener subjetividad. Investigaciones futuras pueden considerar el uso de métodos más objetivos y científicos para determinar los pesos de los indicadores, como el método de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP) o el método de entropía.

Complejidad del modelo: La complejidad y aplicabilidad del modelo de evaluación necesitan ser examinadas y optimizadas aún más para garantizar su robustez y eficacia en diferentes contextos.

Actualización oportuna de los datos: Para asegurar la relevancia de los resultados de la investigación, en estudios futuros se debería utilizar datos más recientes y actualizar el sistema de indicadores de evaluación y el modelo de manera oportuna.

Referencias

- [1] Chen Xun, Li Guangzhou. Investigación empírica sobre la capacidad de desarrollo sostenible económico del oeste basada en DEA[J]. Investigación en Gestión Científica, 2009(5):200-201.https://lib.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=30418248&from=Qikan_Article_Detail
- [2] Chen, C., & Lam, J. S. L. (2018). Sustainability and interactivity between cities and ports: a two-stage data envelopment analysis (DEA) approach. *Maritime Policy & Management*, 45(7), 944–961. <https://doi.org/10.1080/03088839.2018.1450528>
- [3] He Caihong, Wu Kaiya, Hu Shuheng. Cálculo y análisis dinámico de la huella ecológica de la ciudad de Shanghái de 2000 a 2009[J]. Revista de la Universidad de Tecnología de Hefei (Edición de Ciencias Naturales), 2012, 35(2):268-273.<https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/hfgydxxb201202029>
- [4] Huang Youjun, Xu Jian, Li Zelen. Aplicación del análisis de componentes principales en la evaluación del desarrollo sostenible urbano[J]. Ciencias Agrícolas de Anhui, 2007, 35(24):7597-7600.https://wenku.baidu.com/view/6b83d6d4b14e852458fb5757?pcf=2&bfetype=new&bfetype=new&_wks_=1719500024355&needWelcomeRecommand=1
- [5] Khan, S., Yahong, W., Zeeshan, A., 2022. Impact of poverty and income inequality on the ecological footprint in Asian developing economies: assessment of Sustainable Development Goals. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.12.001>
- [6] Kutty, A.A., Kucukvar, M., Abdella, G.M., Bulak, M.E., Onat, N.C., 2022. Sustainability performance of European smart cities: a novel DEA approach with double frontiers. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103777>
- [7] Li Guangwen. Medición, regulación y alerta temprana del desarrollo sostenible urbano[J]. Revista Semanal del Mercado (Investigación Teórica), 2009(1):93-95. https://cstj.cqvip.com/Qikan/Article/Detailid=1003847103&from=Qikan_Article_Detail
- [8] Mello, J. de, Gomes, E.G., Angulo Meza, L., Estellita Lins, M.P., 2004. Selección de variables para el incremento del poder de discriminación de los modelos DEA. Rev. La Esc. Perfecc. en Investig. Oper. 24, 40–52. [http://refhub.elsevier.com/S2666-7916\(23\)00019-2/sref24](http://refhub.elsevier.com/S2666-7916(23)00019-2/sref24)

-
- [9] Mondéjar-Jiménez, J., & Vargas-Vargas, M. (2008). Indicadores sintéticos: una revisión de los métodos de agregación. *Sociedad y Territorio*, VIII(27), 565-585. <https://est.cmq.edu.mx/index.php/est/article/view/197>
- [10] Oggioni, G., Riccardi, R., Toninelli, R., 2011. Eco-eficiencia de la industria mundial del cemento: un análisis de envolvente de datos. *Energy Pol.* 39, 2842–2854. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.057>. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.057>.
- [11] Onat, N. C., Bulak, M. E., Kutty, A. A., Kucukvar, M., & Abdella, G. M. (2022, June). Sustainability performance of European smart cities: A novel DEA approach with double frontiers. Volume 81 *Sustainable Cities and Society*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221067072200107X>
- [12] Shao Guilan, Han Fei, Li Chen. Medición de la capacidad de desarrollo sostenible de la economía marina basada en el análisis de componentes principales: un ejemplo de los datos de la provincia de Shandong de 2000 a 2008[J]. *Revista de la Universidad Oceánica de China (Edición de Ciencias Sociales)*, 2011(6):18-22.<https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/zghydxxb-shkx201106004>
- [13] Tong Yiqin. Evaluación del desarrollo sostenible de la provincia de Zhejiang basada en el modelo de huella ecológica local[J]. *Recursos y Medio Ambiente de la Cuenca del Río Yangtze*, 2009, 18(10):896-902. <https://www.chemalink.net/data/download/f9a5ef2f9f1862d4.html>
- [14] United Nations Development Programme. Informe sobre Desarrollo Humano[M]. Oxford University Press, 1999.
- [15] Villanueva-Cantillo, J., Munoz-Marquez, M., 2021. Methodology for calculating critical values of relevance measures in variable selection methods in data envelopment analysis. *Eur. J. Oper. Res.* 290, 657–670. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.08.021>
- [16] Wu, F. (2023). Research on the Performance of Undergraduate Talent Training in China's Top Universities under the Background of Higher Education Popularization: DEA Analysis Based on Data from 41 Universities in the First Batch of "World-Class Universities Construction [J]. *Operations Research and Fuzziology*, 13(5), 4619-4629. <https://doi.org/10.12677/ORF.2023.135464>
- [17] Zhang Xudong, Ding Jianxun, Xu Jingxiu. Evaluación del desarrollo sostenible urbano de la provincia de Shandong basada en el método de análisis jerárquico[J]. *Economía Contemporánea*, 2010(18):115-117. https://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/Detailid=35841864&from=Qikan_Article_Detail

R Notebook

```
options(repos = c(CRAN = "https://cran.rstudio.com/"))

data <- data.frame(
  City = c("Barcelona", "Madrid", "sevilla", "zaragoza", "valencia", "Valencia2",
"Seville", "Zaragoza", "Malaga", "Murcia", "Palma de Mallorca", "Las Palmas
de Gran Canaria",
  "Bilbao", "Alicante", "Cordoba", "Valladolid", "Vigo", "Gijon",
"L'Hospitalet de Llobregat",
  "Vitoria-Gasteiz", "A Coruna", "Oviedo", "Santa Cruz de Tenerife",
"Pamplona", "Burgos", "Albacete",
  "Santander", "Logrono", "Badajoz", "Huelva", "Tarragona",
"Ourense", "Lugo", "Santiago de Compostela",
  "Toledo", "Pontevedra"),
  Alquiler_m2 = c(21.6, 19.4, 11.5, 9.8, 14.1, 8.2, 9.2, 7.2, 10, 6.9, 12.2, 10.1,
11.4, 7.3, 6.7, 6.6, 7.9, 7.4, 13.1, 7.5, 6.8, 6.9, 8, 8.4, 6.3, 5.3, 8.3,
5.7, 5.1, 5.9, 8, 5, 5.3, 5.4, 6.4, 5.9),
  Renta_hogar = c(37219, 40856, 27930, 32639, 29992, 53013, 55613, 54270, 53347,
42461, 50243, 44666, 43231, 52202, 52762, 42701, 35341, 39688, 46470, 41743,
36628, 36358, 46599, 31786, 65630, 55022, 66580, 52831, 53859, 49636, 36543,
29648, 30292, 35475, 80609, 35040),
  Pobreza_pct = c(0.20, 0.20, 0.38, 0.19, 0.30, 0.21, 0.32, 0.13, 0.29, 0.31,
0.16, 0.31, 0.08, 0.37, 0.3, 0.19, 0.18, 0.11, 0.2, 0.11, 0.11, 0.12, 0.3,
0.08, 0.28, 0.16, 0.21, 0.21, 0.18, 0.22, 0.36, 0.15, 0.17, 0.14, 0.12,
0.18),
  Densidad_Pob = c(53119, 63534, 13540, 7291, 15623, 5852, 4945, 683, 1439, 503,
1949, 3756, 8438, 1640, 260, 1514, 2639, 1499, 20466, 876, 6375, 590, 1353,
7803, 1640, 141, 4947, 1906, 105, 953, 2272, 1220, 294, 440, 361, 684),
  PIB_per_capita = c(26531, 29576, 18223, 25150, 21091, 22153, 18461, 17153,
17021, 19227, 27994, 19248, 30890, 18191, 16724, 22492, 24416, 31773, 23200,
32252, 24987, 38656, 19217, 29100, 27205, 19067, 15826, 24873, 15748, 18125,
41900, 19720, 21800, 32637, 17169, 21253),
  Ratio_Vehiculos = c(0.005, 0.006, 0.003, 0.003, 0.003, 0.003, 0.003, 0.003,
0.002, 0.002, 0.004, 0.007, 0.006, 0.003, 0.003, 0.003, 0.001, 0.004, 0.003,
0.003, 0.002, 0.002, 0.011, 0.003, 0.003, 0.002, 0.002, 0.003, 0.001, 0.002,
0.003, 0.003, 0.005, 0.003, 0.003, 0.003),
  NO2 = c(41.3, 17.23, 5.16, 5.35, 17.8, 30.01, 26.69, 26.71, 27.25, 31.39, 16.83,
16.72, 53.21, 19.05, 25.33, 24.17, 41.5, 24.52, 36.29, 42.7, 22.15, 19.38,
22.05, 23.75, 14, 13.57, 26.63, 17.4, 9, 15.4, 21.95, 35.2, 12.5, 22.95,
21.23, 34),
  PM10 = c(32.97, 10.2, 8.08, 12.41, 13.27, 21.7, 21.8, 18, 25.7, 34, 34.9, 31,
18.3, 24.6, 27, 17.5, 12.4, 24.2, 24.3, 15.9, 56.1, 22.8, 22.6, 16.7, 14.5,
25.4, 23.6, 18.1, 14.1, 28.8, 19.1, 7.5, 8.2, 11.5, 21.2, 10.9),
  Ozone = c(47.84, 77.39, 76.86, 75.73, 97.99, 47.80, 50.50, 134.00, 138.00,
55.50, 50.70, 56.80, 69.00, 56.80, 148.00, 48.80, 63.60, 40.00, 95.00, 81.80,
73.10, 39.80, 56.70, 45.00, 62.00, 61.80, 46.40, 47.00, 66.70, 129.00, 54.80,
43.90, 64.90, 73.00, 56.10, 56.60),
```

```

Violencia_genero = c(0.9,1.1,2.2,1.8,2.2,7.54, 1.35, 3.80, 5.84, 4.85,
5.77, 4.31, 2.88, 6.49, 2.84, 2.83, 3.76, 3.57, 5.11, 3.03, 3.03, 2.75, 4.35,
3.07, 2.75, 2.43, 3.73, 2.52, 4.83, 5.33, 4.67, 3.00, 3.00, 1.90, 2.45,
2.00),
Endeudamiento = c(692,532,317,939,297,701, 502, 1387, 844, 701, 782, 129,
6, 254, 611, 324, 6, 437, 321, 584, 273, 265, 305, 343, 1157, 392, 310, 186,
110, 1363, 1119, 3, 27, 271, 339, 100)
)

library(dplyr)

## Warning: 程辑包'dplyr'是用R版本4.2.3 来建造的

##
## 载入程辑包：'dplyr'

## The following objects are masked from 'package:stats':
##
##   filter, lag

## The following objects are masked from 'package:base':
##
##   intersect, setdiff, setequal, union

dato <- data %>% filter(!City %in% c("Valencia2", "Seville", "Zaragoza"))
dato$City

## [1] "Barcelona"           "Madrid"
## [3] "sevilla"             "zaragoza"
## [5] "valencia"            "Malaga"
## [7] "Murcia"              "Palma de Mallorca"
## [9] "Las Palmas de Gran Canaria" "Bilbao"
## [11] "Alicante"           "Cordoba"
## [13] "Valladolid"         "Vigo"
## [15] "Gijon"              "L'Hospitalet de Llobregat"
## [17] "Vitoria-Gasteiz"    "A Coruna"
## [19] "Oviedo"              "Santa Cruz de Tenerife"
## [21] "Pamplona"           "Burgos"
## [23] "Albacete"           "Santander"
## [25] "Logrono"            "Badajoz"
## [27] "Huelva"             "Tarragona"
## [29] "Ourense"            "Lugo"
## [31] "Santiago de Compostela" "Toledo"
## [33] "Pontevedra"

print(dato)

##           City Alquiler_m2 Renta_hogar Pobreza_pct
Densidad_Pob
## 1           Barcelona      21.6      37219      0.20
53119

```

| | | | | |
|----------------|----------------------------|------|-------|------|
| ## 2 63534 | Madrid | 19.4 | 40856 | 0.20 |
| ## 3 13540 | sevilla | 11.5 | 27930 | 0.38 |
| ## 4 7291 | zaragoza | 9.8 | 32639 | 0.19 |
| ## 5 15623 | valencia | 14.1 | 29992 | 0.30 |
| ## 6 1439 | Malaga | 10.0 | 53347 | 0.29 |
| ## 7 503 | Murcia | 6.9 | 42461 | 0.31 |
| ## 8 1949 | Palma de Mallorca | 12.2 | 50243 | 0.16 |
| ## 9 3756 | Las Palmas de Gran Canaria | 10.1 | 44666 | 0.31 |
| ## 10 8438 | Bilbao | 11.4 | 43231 | 0.08 |
| ## 11 1640 | Alicante | 7.3 | 52202 | 0.37 |
| ## 12 260 | Cordoba | 6.7 | 52762 | 0.30 |
| ## 13 1514 | Valladolid | 6.6 | 42701 | 0.19 |
| ## 14 2639 | Vigo | 7.9 | 35341 | 0.18 |
| ## 15 1499 | Gijon | 7.4 | 39688 | 0.11 |
| ## 16 20466 | L'Hospitalet de Llobregat | 13.1 | 46470 | 0.20 |
| ## 17 876 | Vitoria-Gasteiz | 7.5 | 41743 | 0.11 |
| ## 18 6375 | A Coruna | 6.8 | 36628 | 0.11 |
| ## 19 590 | Oviedo | 6.9 | 36358 | 0.12 |
| ## 20 1353 | Santa Cruz de Tenerife | 8.0 | 46599 | 0.30 |
| ## 21 7803 | Pamplona | 8.4 | 31786 | 0.08 |
| ## 22 1640 | Burgos | 6.3 | 65630 | 0.28 |
| ## 23 141 | Albacete | 5.3 | 55022 | 0.16 |
| ## 24 4947 | Santander | 8.3 | 66580 | 0.21 |
| ## 25 1906 | Logrono | 5.7 | 52831 | 0.21 |
| ## 26 105 | Badajoz | 5.1 | 53859 | 0.18 |

| | | | | | | |
|-------|------------------------|-----------------|-------|-------|--------|------------------|
| ## 27 | Huelva | 5.9 | 49636 | 0.22 | | |
| 953 | | | | | | |
| ## 28 | Tarragona | 8.0 | 36543 | 0.36 | | |
| 2272 | | | | | | |
| ## 29 | Ourense | 5.0 | 29648 | 0.15 | | |
| 1220 | | | | | | |
| ## 30 | Lugo | 5.3 | 30292 | 0.17 | | |
| 294 | | | | | | |
| ## 31 | Santiago de Compostela | 5.4 | 35475 | 0.14 | | |
| 440 | | | | | | |
| ## 32 | Toledo | 6.4 | 80609 | 0.12 | | |
| 361 | | | | | | |
| ## 33 | Pontevedra | 5.9 | 35040 | 0.18 | | |
| 684 | | | | | | |
| ## | PIB_per_capita | Ratio_Vehiculos | N02 | PM10 | Ozone | Violencia_genero |
| ## 1 | 26531 | 0.005 | 41.30 | 32.97 | 47.84 | 0.90 |
| ## 2 | 29576 | 0.006 | 17.23 | 10.20 | 77.39 | 1.10 |
| ## 3 | 18223 | 0.003 | 5.16 | 8.08 | 76.86 | 2.20 |
| ## 4 | 25150 | 0.003 | 5.35 | 12.41 | 75.73 | 1.80 |
| ## 5 | 21091 | 0.003 | 17.80 | 13.27 | 97.99 | 2.20 |
| ## 6 | 17021 | 0.002 | 27.25 | 25.70 | 138.00 | 5.84 |
| ## 7 | 19227 | 0.002 | 31.39 | 34.00 | 55.50 | 4.85 |
| ## 8 | 27994 | 0.004 | 16.83 | 34.90 | 50.70 | 5.77 |
| ## 9 | 19248 | 0.007 | 16.72 | 31.00 | 56.80 | 4.31 |
| ## 10 | 30890 | 0.006 | 53.21 | 18.30 | 69.00 | 2.88 |
| ## 11 | 18191 | 0.003 | 19.05 | 24.60 | 56.80 | 6.49 |
| ## 12 | 16724 | 0.003 | 25.33 | 27.00 | 148.00 | 2.84 |
| ## 13 | 22492 | 0.003 | 24.17 | 17.50 | 48.80 | 2.83 |
| ## 14 | 24416 | 0.001 | 41.50 | 12.40 | 63.60 | 3.76 |
| ## 15 | 31773 | 0.004 | 24.52 | 24.20 | 40.00 | 3.57 |
| ## 16 | 23200 | 0.003 | 36.29 | 24.30 | 95.00 | 5.11 |
| ## 17 | 32252 | 0.003 | 42.70 | 15.90 | 81.80 | 3.03 |
| ## 18 | 24987 | 0.002 | 22.15 | 56.10 | 73.10 | 3.03 |
| ## 19 | 38656 | 0.002 | 19.38 | 22.80 | 39.80 | 2.75 |
| ## 20 | 19217 | 0.011 | 22.05 | 22.60 | 56.70 | 4.35 |
| ## 21 | 29100 | 0.003 | 23.75 | 16.70 | 45.00 | 3.07 |
| ## 22 | 27205 | 0.003 | 14.00 | 14.50 | 62.00 | 2.75 |
| ## 23 | 19067 | 0.002 | 13.57 | 25.40 | 61.80 | 2.43 |
| ## 24 | 15826 | 0.002 | 26.63 | 23.60 | 46.40 | 3.73 |
| ## 25 | 24873 | 0.003 | 17.40 | 18.10 | 47.00 | 2.52 |
| ## 26 | 15748 | 0.001 | 9.00 | 14.10 | 66.70 | 4.83 |
| ## 27 | 18125 | 0.002 | 15.40 | 28.80 | 129.00 | 5.33 |
| ## 28 | 41900 | 0.003 | 21.95 | 19.10 | 54.80 | 4.67 |
| ## 29 | 19720 | 0.003 | 35.20 | 7.50 | 43.90 | 3.00 |
| ## 30 | 21800 | 0.005 | 12.50 | 8.20 | 64.90 | 3.00 |
| ## 31 | 32637 | 0.003 | 22.95 | 11.50 | 73.00 | 1.90 |
| ## 32 | 17169 | 0.003 | 21.23 | 21.20 | 56.10 | 2.45 |
| ## 33 | 21253 | 0.003 | 34.00 | 10.90 | 56.60 | 2.00 |
| ## | Endeudamiento | | | | | |
| ## 1 | 692 | | | | | |

```

## 2          532
## 3          317
## 4          939
## 5          297
## 6          844
## 7          701
## 8          782
## 9          129
## 10         6
## 11         254
## 12         611
## 13         324
## 14         6
## 15         437
## 16         321
## 17         584
## 18         273
## 19         265
## 20         305
## 21         343
## 22        1157
## 23         392
## 24         310
## 25         186
## 26         110
## 27        1363
## 28        1119
## 29         3
## 30         27
## 31         271
## 32         339
## 33         100

install.packages("psych")

## 程序包'psych'打开成功, MD5和检查也通过
##
## 下载的二进制程序包在
## C:\Users\maoji\AppData\Local\Temp\RtmpQrnQz1\downloaded_packages里

library(psych)

## Warning: 程辑包'psych'是用R版本4.2.3 来建造的

summary(dato)

##      City      Alquiler_m2      Renta_hogar      Pobreza_pct
## Length:33      Min.   : 5.000      Min.   :27930      Min.   :0.0800
## Class :character 1st Qu.: 6.300      1st Qu.:35475      1st Qu.:0.1500

```

```

## Mode :character      Median : 7.400      Median :42461      Median :0.1900
##                               Mean : 8.673      Mean :44122      Mean :0.2082
##                               3rd Qu.:10.000      3rd Qu.:52202      3rd Qu.:0.2900
##                               Max. :21.600      Max. :80609      Max. :0.3800
##   Densidad_Pob   PIB_per_capita   Ratio_Vehiculos      N02
##   Min. : 105     Min. :15748     Min. :0.001000     Min. : 5.16
##   1st Qu.: 684     1st Qu.:19067     1st Qu.:0.002000     1st Qu.:16.83
##   Median : 1640     Median :22492     Median :0.003000     Median :22.05
##   Mean : 6945     Mean :23978     Mean :0.003394     Mean :23.54
##   3rd Qu.: 6375     3rd Qu.:27994     3rd Qu.:0.003000     3rd Qu.:27.25
##   Max. :63534     Max. :41900     Max. :0.011000     Max. :53.21
##   PM10           Ozone           Violencia_genero     Endeudamiento
##   Min. : 7.50     Min. : 39.80     Min. :0.900     Min. : 3.0
##   1st Qu.:13.27     1st Qu.: 50.70     1st Qu.:2.450     1st Qu.: 254.0
##   Median :19.10     Median : 61.80     Median :3.000     Median : 321.0
##   Mean :20.84     Mean : 68.38     Mean :3.372     Mean : 434.5
##   3rd Qu.:25.40     3rd Qu.: 75.73     3rd Qu.:4.350     3rd Qu.: 611.0
##   Max. :56.10     Max. :148.00     Max. :6.490     Max. :1363.0

install.packages("GGally")

## 程序包'GGally'打开成功, MD5和检查也通过
##
## 下载的二进制程序包在
## C:\Users\maoji\AppData\Local\Temp\RtmpQrnQz1\downloaded_packages里

library(ggplot2)

## Warning: 程辑包'ggplot2'是用R版本4.2.3 来建造的
##
## 载入程辑包: 'ggplot2'

## The following objects are masked from 'package:psych':
##
##   %+%, alpha

library(GGally)

## Warning: 程辑包'GGally'是用R版本4.2.3 来建造的

## Registered S3 method overwritten by 'GGally':
##   method from
##   +.gg ggplot2

library(gridExtra)

##
## 载入程辑包: 'gridExtra'

```

```

## The following object is masked from 'package:dplyr':
##
##      combine

p1 <- ggplot(dato, aes(x=Alquiler_m2)) +
  geom_histogram(binwidth=1, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución del Alquiler por m2", x="Alquiler por m2",
y="Frecuencia")

p2 <- ggplot(dato, aes(x=Renta_hogar)) +
  geom_histogram(binwidth=5000, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución de la Renta del Hogar", x="Renta del Hogar",
y="Frecuencia")

p3 <- ggplot(dato, aes(x=Pobreza_pct)) +
  geom_histogram(binwidth=0.05, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución del Porcentaje de Pobreza", x="Porcentaje de
Pobreza", y="Frecuencia")

p4 <- ggplot(dato, aes(x=Densidad_Pob)) +
  geom_histogram(binwidth=1000, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución de la Densidad de Población", x="Densidad de
Población", y="Frecuencia")

p5 <- ggplot(dato, aes(x=PIB_per_capita)) +
  geom_histogram(binwidth=5000, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución del PIB per cápita", x="PIB per cápita",
y="Frecuencia")

p6 <- ggplot(dato, aes(x=Ratio_Vehiculos)) +
  geom_histogram(binwidth=0.001, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución del Ratio de Vehículos", x="Ratio de Vehículos",
y="Frecuencia")

p7 <- ggplot(dato, aes(x=N02)) +
  geom_histogram(binwidth=5, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución de N02", x="N02 (µg/m3)", y="Frecuencia")

p8 <- ggplot(dato, aes(x=PM10)) +
  geom_histogram(binwidth=5, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución de PM10", x="PM10 (µg/m3)", y="Frecuencia")

p9 <- ggplot(dato, aes(x=Ozone)) +
  geom_histogram(binwidth=10, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución de Ozone", x="Ozone (µg/m3)", y="Frecuencia")

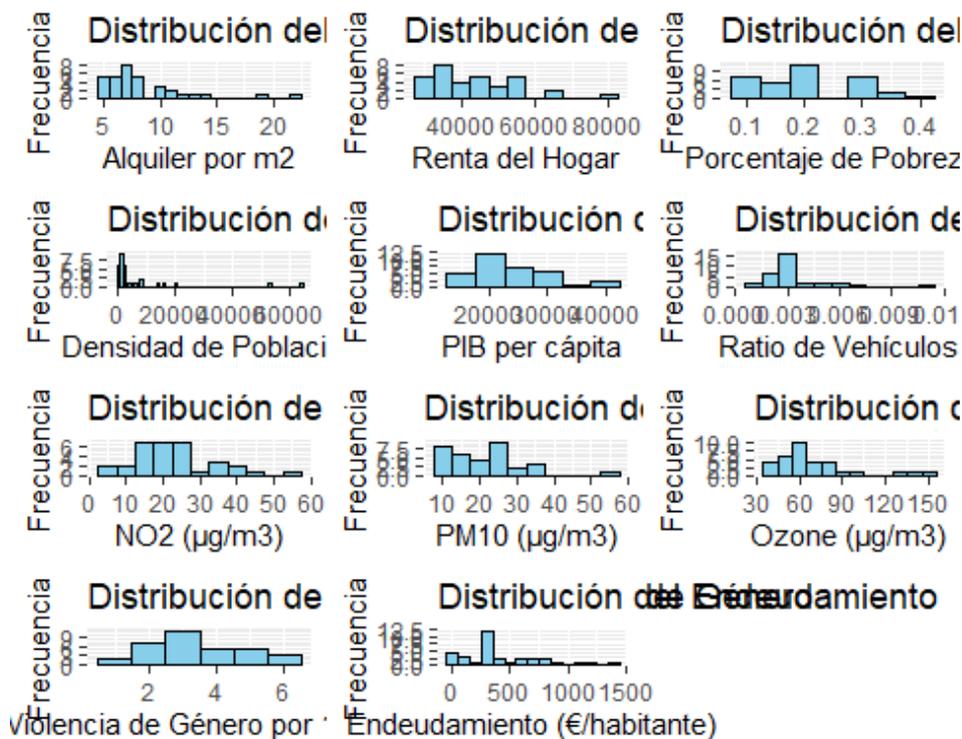
p10 <- ggplot(dato, aes(x=Violencia_genero)) +
  geom_histogram(binwidth=1, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución de Casos de Violencia de Género", x="Casos de

```

```
Violencia de Género por 1000 habitantes", y="Frecuencia")
```

```
p11 <- ggplot(dato, aes(x=Endeudamiento)) +
  geom_histogram(binwidth=100, fill="skyblue", color="black") +
  labs(title="Distribución del Endeudamiento", x="Endeudamiento
(€/habitante)", y="Frecuencia")
```

```
grid.arrange(p1, p2, p3, p4, p5, p6, p7, p8, p9, p10, p11, ncol=3)
```



```
library(ggplot2)
```

```
library(factoextra)
```

```
## Warning: 程辑包'factoextra'是用R版本4.2.3 来建造的
```

```
## Welcome! Want to learn more? See two factoextra-related books at
https://goo.gl/ve3WBa
```

```
library(dplyr)
```

```
numeric_data <- dato %>% select(where(is.numeric))
```

```
# Normalización de datos
```

```
sd <- scale(numeric_data)
```

```
# Análisis de componentes principales
```

```
pca <- prcomp(sd, scale. = TRUE)
```

```
screplot <- fviz_eig(pca, addlabels = TRUE, ylim = c(0, 50)) +
```

```
ggtitle("Gráfico de análisis de componentes principales")
```

```

# Calcular La varianza acumulada
eig_values <- (pca$sdev)^2
cum_var <- cumsum(eig_values) / sum(eig_values)

cum_var <- as.numeric(cum_var)
alpha = 0.85

#Seleccione el número de componentes principales
num <- which(cum_var >= alpha)[1]

# Calcular La puntuación general
scores <- pca$x[, 1:num]
weights <- eig_values[1:num] / sum(eig_values[1:num])
composite_scores <- rowSums(scores * weights)

# Resultados de salida
result0 <- cor(sd)
result1 <- data.frame(eigenvalues = eig_values, variance = eig_values /
sum(eig_values), cumulative_variance = cum_var)
result2 <- pca$rotation[, 1:num]
result3 <- data.frame(scores, composite_scores)
result0

##           Alquiler_m2 Renta_hogar Pobreza_pct Densidad_Pob
## Alquiler_m2      1.00000000 -0.19669752  0.122253688  0.89339214
## Renta_hogar     -0.19669752  1.00000000  0.050613913 -0.19643951
## Pobreza_pct      0.12225369  0.05061391  1.000000000  0.01546419
## Densidad_Pob     0.89339214 -0.19643951  0.015464193  1.00000000
## PIB_per_capita   0.15111705 -0.37084932 -0.324914220  0.14883956
## Ratio_Vehiculos  0.34077858 -0.08662623  0.123212784  0.27750011
## NO2              0.18180898 -0.09280016 -0.326010280  0.11823895
## PM10            0.07905641  0.23993478 -0.006610639 -0.02385644
## Ozone           0.07901924  0.08255295  0.280551313  0.02029706
## Violencia_genero -0.24987754  0.27153395  0.333338241 -0.43592617
## Endeudamiento   0.13862371  0.21063554  0.302156231  0.07704603
##
##           PIB_per_capita Ratio_Vehiculos          NO2          PM10
## Alquiler_m2      0.15111705      0.34077858  0.18180898  0.079056411
## Renta_hogar     -0.37084932     -0.08662623 -0.09280016  0.239934781
## Pobreza_pct     -0.32491422      0.12321278 -0.32601028 -0.006610639
## Densidad_Pob     0.14883956      0.27750011  0.11823895 -0.023856443
## PIB_per_capita   1.00000000      0.05813229  0.19845340 -0.074721370
## Ratio_Vehiculos  0.05813229      1.00000000  0.06008500 -0.014003328
## NO2              0.19845340      0.06008500  1.00000000  0.081897390
## PM10            -0.07472137     -0.01400333  0.08189739  1.000000000
## Ozone           -0.31850972     -0.15653464 -0.03394411  0.081305036
## Violencia_genero -0.22547702     -0.09213327 -0.01862537  0.348713493

```

| | | | | |
|---------------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| ## Endeudamiento | 0.17472584 | -0.13048108 | -0.23263033 | 0.230102663 |
| ## | Ozone | Violencia_genero | Endeudamiento | |
| ## Alquiler_m2 | 0.07901924 | -0.24987754 | 0.13862371 | |
| ## Renta_hogar | 0.08255295 | 0.27153395 | 0.21063554 | |
| ## Pobreza_pct | 0.28055131 | 0.33333824 | 0.30215623 | |
| ## Densidad_Pob | 0.02029706 | -0.43592617 | 0.07704603 | |
| ## PIB_per_capita | -0.31850972 | -0.22547702 | 0.17472584 | |
| ## Ratio_Vehiculos | -0.15653464 | -0.09213327 | -0.13048108 | |
| ## NO2 | -0.03394411 | -0.01862537 | -0.23263033 | |
| ## PM10 | 0.08130504 | 0.34871349 | 0.23010266 | |
| ## Ozone | 1.00000000 | 0.16970412 | 0.37124077 | |
| ## Violencia_genero | 0.16970412 | 1.00000000 | 0.18989108 | |
| ## Endeudamiento | 0.37124077 | 0.18989108 | 1.00000000 | |

result1

| ## | eigenvalues | variance | cumulative_variance |
|-------|-------------|------------|---------------------|
| ## 1 | 2.62953200 | 0.23904836 | 0.2390484 |
| ## 2 | 2.02819755 | 0.18438160 | 0.4234300 |
| ## 3 | 1.33836482 | 0.12166953 | 0.5450995 |
| ## 4 | 1.20684755 | 0.10971341 | 0.6548129 |
| ## 5 | 1.02780495 | 0.09343681 | 0.7482497 |
| ## 6 | 0.91768360 | 0.08342578 | 0.8316755 |
| ## 7 | 0.65704569 | 0.05973143 | 0.8914069 |
| ## 8 | 0.56040188 | 0.05094563 | 0.9423525 |
| ## 9 | 0.34458019 | 0.03132547 | 0.9736780 |
| ## 10 | 0.21240735 | 0.01930976 | 0.9929878 |
| ## 11 | 0.07713442 | 0.00701222 | 1.0000000 |

result2

| ## | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 |
|--------------------|------------|-------------|--------------|-------------|
| ## | | | | |
| PC5 | | | | |
| ## Alquiler_m2 | -0.4073256 | 0.46985282 | 0.090252781 | -0.10002210 |
| 0.06408120 | | | | |
| ## Renta_hogar | 0.3326836 | 0.09144521 | 0.200216090 | -0.24815143 |
| 0.08878176 | | | | |
| ## Pobreza_pct | 0.2135327 | 0.42666509 | -0.367646202 | -0.06868529 |
| 0.25038997 | | | | |
| ## Densidad_Pob | -0.4508758 | 0.39915797 | 0.004610312 | -0.05097008 |
| 0.15439103 | | | | |
| ## PIB_per_capita | -0.3200144 | -0.13692097 | 0.285569237 | 0.50916690 |
| 0.39956143 | | | | |
| ## Ratio_Vehiculos | -0.2404323 | 0.16984051 | -0.099574887 | -0.48398015 |
| 0.47417755 | | | | |
| ## NO2 | -0.2114492 | -0.12409946 | 0.508465723 | -0.23556934 |
| 0.31542208 | | | | |
| ## PM10 | 0.1634287 | 0.20171675 | 0.607770806 | -0.15807235 |
| 0.15118183 | | | | |
| ## Ozone | 0.2065301 | 0.37292979 | -0.034217861 | 0.16788889 |
| 0.53900755 | | | | |

| | | | | | | |
|----|------------------|-------------|------------|-------------|-------------|---|
| ## | Violencia_genero | 0.4176760 | 0.10355876 | 0.248110059 | -0.15721569 | - |
| | | 0.27623018 | | | | |
| ## | Endeudamiento | 0.1605549 | 0.41954904 | 0.185649708 | 0.54242961 | - |
| | | 0.16675342 | | | | |
| ## | | | PC6 | | PC7 | |
| ## | Alquiler_m2 | -0.02507740 | | 0.10705054 | | |
| ## | Renta_hogar | -0.62721411 | | -0.46980289 | | |
| ## | Pobreza_pct | 0.29155305 | | 0.02240134 | | |
| ## | Densidad_Pob | -0.19184244 | | 0.13213920 | | |
| ## | PIB_per_capita | 0.10209063 | | -0.20325218 | | |
| ## | Ratio_Vehiculos | 0.06733174 | | -0.40453032 | | |
| ## | NO2 | 0.43044417 | | -0.35999462 | | |
| ## | PM10 | -0.11205902 | | 0.54909527 | | |
| ## | Ozone | 0.30968579 | | -0.18086565 | | |
| ## | Violencia_genero | 0.39651123 | | 0.02265143 | | |
| ## | Endeudamiento | -0.13507400 | | -0.28386509 | | |

result3

| ## | | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 |
|-------|-----|--------------|------------|------------|--------------|-------------|
| ## | PC6 | | | | | |
| ## 1 | | -4.289659138 | 2.7418253 | 1.5364865 | -0.576859729 | 0.41761238 |
| | | 0.763371146 | | | | - |
| ## 2 | | -4.256616258 | 2.8706777 | -0.9472399 | 0.136569983 | 0.37827534 |
| | | 1.223378615 | | | | - |
| ## 3 | | -0.395937903 | 1.1894991 | -3.0791242 | 0.355672677 | 0.06400428 |
| | | 0.465836766 | | | | |
| ## 4 | | -0.475990712 | 0.5332371 | -1.3893784 | 1.941675559 | -0.15619744 |
| | | 0.639445168 | | | | - |
| ## 5 | | -1.020459363 | 1.3505784 | -1.6540995 | 0.273710417 | 0.92587163 |
| | | 0.770039091 | | | | |
| ## 6 | | 2.486673101 | 2.2097835 | 0.6364741 | 0.180530098 | 1.30513755 |
| | | 1.147035492 | | | | |
| ## 7 | | 1.535854193 | 0.5038497 | 0.9368058 | -0.202894571 | -0.43465482 |
| | | 0.741597614 | | | | |
| ## 8 | | 0.670781446 | 0.7686920 | 1.7113910 | 0.073615660 | -1.60420397 |
| | | 0.433313135 | | | | - |
| ## 9 | | 0.348510379 | 0.8374595 | -0.4691933 | -2.059721804 | -1.53440813 |
| | | 0.279444913 | | | | |
| ## 10 | | -2.291334415 | -1.1179051 | 1.6633467 | -1.276952792 | 0.57174938 |
| | | 0.986161365 | | | | |
| ## 11 | | 2.186566939 | 0.6236790 | -0.3305090 | -1.259936885 | -1.00189748 |
| | | 0.714563094 | | | | |
| ## 12 | | 1.894230296 | 1.6019853 | -0.2402978 | 0.060051746 | 1.80970102 |
| | | 0.540087831 | | | | |
| ## 13 | | -0.005519382 | -1.0303575 | -0.3432737 | -0.091678003 | -0.02924171 |
| | | 0.214459842 | | | | - |
| ## 14 | | -0.418375615 | -1.5684453 | 0.2616203 | -0.110573755 | 1.19446857 |
| | | 1.367900626 | | | | |
| ## 15 | | -0.639607667 | -1.2634214 | 0.9451878 | 0.401128499 | -1.08069577 |
| | | | | | | - |

```

0.152134653
## 16 -0.274523373  1.1653330  1.1818962 -0.697823211  0.96408136
0.917533145
## 17 -0.726454924 -1.0037894  1.3174910  0.941309433  0.67263637
0.795243876
## 18  0.345009236 -0.3652981  2.2905046  0.006637815  0.14825234 -
0.384433625
## 19 -0.960224939 -1.8851074  0.6758536  1.469615307 -0.95988197 -
0.245587971
## 20  0.027399752  0.8189986 -0.8146155 -2.753776762 -2.35257800
0.573430002
## 21 -1.248912808 -1.4316869  0.2679398  0.664710587 -0.22131961 -
0.001633407
## 22  1.266878308  0.6987723 -0.3895578  1.376941306 -0.77253824 -
1.595870835
## 23  1.077824021 -0.7882895 -0.1948568  0.036748674  0.45559662 -
1.519105368
## 24  1.170284078 -0.2829305  0.4158250 -1.210241786  0.56309435 -
1.337001062
## 25  0.263373492 -1.1248732 -0.5793399 -0.169013125 -0.27854583 -
0.969159475
## 26  1.936892574 -1.0089125 -1.0200637 -0.355976522  0.62785083 -
0.675212062
## 27  2.892102903  1.9529212  0.6666875  1.517333756  0.63070597
0.205244602
## 28  0.172055206  0.7957960  0.4272783  2.440686748 -2.42908039
1.156082599
## 29 -0.668030167 -2.2417169 -0.7783995 -0.584586499  0.61586762
0.965487005
## 30 -0.333192336 -1.4011632 -1.8793697 -0.319783290 -0.31092926
0.453347700
## 31 -0.855524474 -1.6244674 -0.4837327  1.211115092  0.17304960
0.228602783
## 32  1.258998548 -0.8377675  0.3812743 -1.109341138  0.84109517 -
2.702362407
## 33 -0.673070996 -1.6869560 -0.7230110 -0.308893486  0.80712225
0.548830266
##          PC7 composite_scores
## 1  0.61436796  -0.792139625
## 2 -0.32508336  -0.821806404
## 3  1.00352407  0.170192035
## 4  0.17656740  -0.014136711
## 5  0.64893373  -0.023868107
## 6 -0.46776268  0.816374893
## 7  0.78263487  0.441662749
## 8  0.41061293  0.380818399
## 9  0.52095460  -0.523322047
## 10 -1.44311331 -0.580954467
## 11  0.52564378  0.347979547
## 12 -0.53909623  0.656715175

```

```

## 13  0.08210024    -0.214799152
## 14  0.10689131     0.115876760
## 15  0.04101058    -0.173226526
## 16 -0.02598616     0.391152116
## 17 -1.30593035    -0.073651899
## 18  2.54567104     0.276470121
## 19  0.58140626    -0.169149004
## 20 -1.25588449    -0.754775045
## 21  0.37297124     0.037303441
## 22 -1.55024438     0.211360636
## 23  0.48441979     0.194337816
## 24 -0.06417610    -0.006022558
## 25 -0.03368597    -0.557864143
## 26  0.60781974    -0.263208739
## 27 -0.30348626     0.763344178
## 28 -0.67729745     0.582642240
## 29  0.01395311    -0.461293271
## 30  0.12556655    -0.428949014
## 31 -0.42558556    -0.442111403
## 32 -1.05384529    -0.817580201
## 33 -0.17387161    -0.322394068

dm.ddf <-
function(xdata, ydata, rts = "crs", g = NULL,
        wd = NULL, se = FALSE, sg = "ssm", date = NULL, cv =
"convex", o = NULL){

  # Initial checks
  if(is.na(match(rts, c("crs", "vrs", "irs", "drs")))) stop('rts must be
"crs", "vrs", "irs", or "drs".')
  if(is.na(match(se, c(0, 1, FALSE, TRUE)))) stop('se must be
either 0(FALSE) or 1(TRUE).')
  if(is.na(match(sg, c("ssm", "max", "min")))) stop('sg must be
"ssm", "max", or "min".')
  if(is.na(match(cv, c("convex", "fdh")))) stop('cv must be
"convex" or "fdh".')
  if(!is.null(o) && !all(o <= nrow(xdata))) stop('o must be
element(s) of n.')
```

```

  # Load Library
  # library(LpSolveAPI)

  # Parameters
  xdata <- as.matrix(xdata)
  ydata <- as.matrix(ydata)
  g <- if(is.null(g)) cbind(xdata, ydata) else as.matrix(g)
  date <- if(!is.null(date)) as.matrix(date)
  n <- nrow(xdata)
  m <- ncol(xdata)
  s <- ncol(ydata)

```

```

wd   <- if(is.null(wd)) matrix(c(0), ncol = s) else matrix(wd, 1)
se   <- ifelse(is.logical(se), ifelse(isTRUE(se), 1, 0), se)
rts  <- ifelse(cv == "fdh", "vrs", rts)
o    <- if(is.null(o)) c(1:n) else as.vector(o)

# Data frames
results. efficiency <- matrix(NA, nrow = n, ncol = 1)
results. lambda    <- matrix(NA, nrow = n, ncol = n)
results. mu        <- matrix(NA, nrow = n, ncol = n)
results. xslack    <- matrix(NA, nrow = n, ncol = m)
results. yslack    <- matrix(NA, nrow = n, ncol = s)
results. beta      <- matrix(NA, nrow = n, ncol = m)
results. gamma     <- matrix(NA, nrow = n, ncol = s)

# LP
for (k in o){
  # Declare LP
  lp.ddf <- make.lp(0, n + n + m + s + m + s) #
  Lambda+mu+beta+gamma+xSlack+ySlack

  # Set objective
  set.objfn(lp.ddf, c(rep(-1, m + s)), indices = c((n + n + 1):(n + n + m +
s)))

  # RTS
  if(rts == "vrs") add.constraint(lp.ddf, c(rep(1, n * 2)), indices =
c(1:(n * 2)), "=", 1)
  if(rts == "crs") set.constr.type(lp.ddf, 0, 1)
  if(rts == "irs") add.constraint(lp.ddf, c(rep(1, n * 2)), indices =
c(1:(n * 2)), ">=", 1)
  if(rts == "drs") add.constraint(lp.ddf, c(rep(1, n * 2)), indices =
c(1:(n * 2)), "<=", 1)

  # Set type
  if(cv == "fdh") set.type(lp.ddf, 1:n, "binary")

  # Mu
  if(rts == "crs" || rts == "drs" || sum(wd) == 0) add.constraint(lp.ddf,
c(rep(1, n)),
indices =
c((n + 1):(n + n)), "=", 0)

  # Input constraints
  for(i in 1:m){
    add.constraint(lp.ddf, c(xdata[, i], xdata[, i], g[k, i], 1),
indices = c(1:(n + n), n + n + i, n + n + m + s + i),
"=", xdata[k, i])
  }
}

```

```

# Output constraints
for(r in 1:s){
  if(wd[1, r] == 1){
    add.constraint(lp.ddf, c(ydata[, r], g[k, m + r]),
                  indices = c(1:n, n + n + m + r), "=", ydata[k, r])
    add.constraint(lp.ddf, c(1), indices = c(n + n + m + s + m + r), "=",
0)
  }else{
    add.constraint(lp.ddf, c(ydata[, r], -g[k, m + r], -1),
                  indices = c(1:n, n + n + m + r, n + n + m + s + m +
r), "=", ydata[k, r])
  }
  if(se == 1) add.constraint(lp.ddf, c(ydata[, r], -1), indices = c(1:n,
n + n + m + s + m + r), ">=", 0)
}

# PPS for Super
if(se == 1) add.constraint(lp.ddf, c(1), indices = c(k), "=", 0)

# Bounds
set.bounds(lp.ddf, lower = c(rep(0, n + n + m + s + m + s)))

# Solve
solve.lpExtPtr(lp.ddf)

# Get results
results.efficiency[k] <- -1 * get.objective(lp.ddf)

# Get results
temp.p <- get.variables(lp.ddf)
results.lambda[k,] <- temp.p[1: n]
results.mu[k,] <- temp.p[(n + 1):(n + n)]
results.beta[k,] <- temp.p[(n + n + 1):(n + n + m)]
results.gamma[k,] <- temp.p[(n + n + m + 1):(n + n + m + s)]
results.xslack[k,] <- temp.p[(n + n + m + s + 1):(n + n + m + s + m)]
results.yslack[k,] <- temp.p[(n + n + m + s + m + 1):(n + n + m + s + m +
s)]

# Stage II
if(exists("sg")){
  # Link previous solutions
  add.constraint(lp.ddf, c(rep(1, m + s)),
                indices = c((n + n + 1):(n + n + m + s)), "=",
results.efficiency[k])

  # date sum
  if(sg == "max") set.objfn(lp.ddf, c(-date[1:n], -date[1:n]), indices =
c(1:(n + n)))
  if(sg == "min") set.objfn(lp.ddf, c(date[1:n], date[1:n]), indices =

```

```

c(1:(n + n)))

  # slack sum max
  if(sg == "ssm") set.objfn(lp.ddf, c(rep(-1, m + s)),
                           indices = c((n + n + m + s + 1):(n + n + m +
s + m + s)))

  # solve
  solve.lpExtPtr(lp.ddf)

  # get results
  temp.s           <- get.variables(lp.ddf)
  results.lambda[k,] <- temp.s[1:n]
  results.mu[k,]    <- temp.s[(n + 1):(n + n)]
  results.beta[k,]  <- temp.s[(n + n + 1):(n + n + m)]
  results.gamma[k,] <- temp.s[(n + n + m + 1):(n + n + m + s)]
  results.xslack[k,] <- temp.s[(n + n + m + s + 1):(n + n + m + s + m)]
  results.yslack[k,] <- temp.s[(n + n + m + s + m + 1):(n + n + m + s + m
+ s)]
}
}
  results <- list(eff = results.efficiency, lambda = results.lambda, mu =
results.mu, beta = results.beta,
                 gamma = results.gamma, xslack = results.xslack, yslack =
results.yslack)
  return(results)
}

install.packages("lpSolveAPI")

## 程序包'lpSolveAPI'打开成功, MD5和检查也通过
##
## 下载的二进制程序包在
## C:\Users\maoji\AppData\Local\Temp\RtmpQrnQz1\downloaded_packages里

library(lpSolveAPI)

## Warning: 程辑包'lpSolveAPI'是用R版本4.2.3 来建造的

library(lpSolve)

## Warning: 程辑包'lpSolve'是用R版本4.2.3 来建造的

install.packages("readxl")

## 程序包'readxl'打开成功, MD5和检查也通过
##

```

```

## 下载的二进制程序包在
## C:\Users\maoji\AppData\Local\Temp\RtmpQrnQz1\downloaded_packages里
install.packages("lpSolveAPI")

## Warning: 正在使用'lpSolveAPI'这个程序包, 因此不会被安装

library(readxl)

## Warning: 程辑包'readxl'是用R版本4.2.3 来建造的

library(lpSolveAPI)
inputs <- dato[, c("Alquiler_m2", "Pobreza_pct" )]
desirable_outputs <- dato[, c("Ratio_Vehiculos")]
undesirable_outputs <- dato[, c("Densidad_Pob", "N02", "PM10", "Ozone",
"Violencia_genero", "Endeudamiento")]
g <- matrix(c(1), nrow = 33, ncol = 9)
g1<- cbind(inputs,desirable_outputs,-undesirable_outputs)
w <- matrix(c(0,1,1,1,1,1,1), ncol = 7)
results <- dm.ddf(xdata = inputs, ydata = cbind(desirable_outputs,
undesirable_outputs), rts = "vrs",g=g,wd=w)
results

## $eff
##           [,1]
## [1,]      0.0000
## [2,]      0.0000
## [3,]      0.0000
## [4,]      0.0000
## [5,] 15814.5580
## [6,] 2320.9620
## [7,] 1167.8320
## [8,] 2505.8860
## [9,]      0.0000
## [10,]      0.0000
## [11,] 1757.5080
## [12,]   830.0680
## [13,] 1686.9880
## [14,] 2687.2060
## [15,]      0.0000
## [16,] 20709.8980
## [17,]      0.0000
## [18,]      0.0000
## [19,]   746.6679
## [20,]      0.0000
## [21,]      0.0000
## [22,] 2645.7280
## [23,]   472.5420
## [24,] 5196.7520

```

```

## [25,] 1931.8280
## [26,] 227.7760
## [27,] 2331.5320
## [28,] 3248.7780
## [29,] 0.0000
## [30,] 0.0000
## [31,] 0.0000
## [32,] 0.0000
## [33,] 642.4780
##
## $lambda
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9] [,10] [,11] [,12] [,13]
## [1,] 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [2,] 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [3,] 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [4,] 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [5,] 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
## [6,] 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
## [7,] 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
## [8,] 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
## [9,] 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
## [10,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
## [11,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
## [12,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
## [13,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
## [14,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [15,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [16,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [17,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [18,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [19,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [20,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [21,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [22,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [23,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [24,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [25,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [26,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [27,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [28,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [29,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [30,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [31,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [32,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [33,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
##      [,14] [,15] [,16] [,17] [,18] [,19]      [,20] [,21] [,22] [,23]
## [1,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
## [2,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0

```

```

0
## [3,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [4,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [5,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [6,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [7,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [8,] 0 0 0 0 0 0 0 0.01417286 0 0 0
0
## [9,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [10,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [11,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [12,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [13,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [14,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [15,] 0 1 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [16,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [17,] 0 0 0 1 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [18,] 0 0 0 0 1 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [19,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [20,] 0 0 0 0 0 0 0 1.00000000 0 0 0
0
## [21,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 1 0 0
0
## [22,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [23,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [24,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [25,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [26,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [27,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0

```

```

0
## [28,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [29,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [30,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [31,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [32,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
## [33,] 0 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0 0
0
##      [,25] [,26] [,27] [,28] [,29]      [,30] [,31]      [,32] [,33]
## [1,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [2,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [3,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [4,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [5,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [6,] 0 0 0 0 0 0 0.40000000 0 0.00000000 0
## [7,] 0 0 0 0 0 0 0.40000000 0 0.00000000 0
## [8,] 0 0 0 0 0 0 0.7688197 0 0.00000000 0
## [9,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [10,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [11,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [12,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [13,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [14,] 0 0 0 0 0 0 0.20000000 0 0.00000000 0
## [15,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [16,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [17,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [18,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [19,] 0 0 0 0 0 0 0.3684211 0 0.05263158 0
## [20,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [21,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 0.00000000 0
## [22,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [23,] 0 0 0 0 0 0 0.40000000 0 0.00000000 0
## [24,] 0 0 0 0 0 0 0.40000000 0 0.00000000 0
## [25,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [26,] 0 0 0 0 0 0 0.20000000 0 0.00000000 0
## [27,] 0 0 0 0 0 0 0.40000000 0 0.00000000 0
## [28,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
## [29,] 0 0 0 0 0 1 0.00000000 0 0.00000000 0
## [30,] 0 0 0 0 0 0 1.00000000 0 0.00000000 0
## [31,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 1 0.00000000 0
## [32,] 0 0 0 0 0 0 0.00000000 0 1.00000000 0
## [33,] 0 0 0 0 0 0 0.60000000 0 0.00000000 0
##
## $mu
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9] [,10] [,11] [,12] [,13]

```

```

## [1,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [2,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [3,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [4,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [5,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [6,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [7,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [8,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [9,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [10,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [11,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [12,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [13,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [14,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [15,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [16,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [17,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [18,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [19,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [20,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [21,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [22,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [23,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [24,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [25,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [26,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [27,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [28,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [29,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [30,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [31,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [32,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
## [33,] 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
##      [,14] [,15] [,16] [,17]      [,18] [,19] [,20]      [,21] [,22] [,23]
## [ ,24]
## [1,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [2,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [3,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [4,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [5,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [6,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [7,] 0 0 0 0 0.0000000 0 0 0.0000000 0 0
0
## [8,] 0 0 0 0 0.1777416 0 0 0.0000000 0 0

```

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|---|---|---|-------------|---|-------------|---|---|---|
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [9,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [10,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [11,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [12,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [13,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [14,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [15,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [16,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [17,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [18,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [19,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.1578947 | 0 | 0 0.4210526 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [20,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [21,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [22,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [23,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [24,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [25,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [26,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [27,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [28,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [29,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [30,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [31,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [32,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | | | | | | | | | | |
| ## | [33,] | 0 | 0 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 0.0000000 | 0 | 0 | 0 |

```

0
##      [,25] [,26] [,27] [,28] [,29] [,30]      [,31] [,32] [,33]
## [1,]      0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [2,]      0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [3,]      0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [4,]      0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [5,]      0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [6,]      0      0      0      0  0.6      0 0.0000000      0      0
## [7,]      0      0      0      0  0.6      0 0.0000000      0      0
## [8,]      0      0      0      0  0.0      0 0.0392658      0      0
## [9,]      0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [10,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [11,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [12,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [13,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [14,]     0      0      0      0  0.8      0 0.0000000      0      0
## [15,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [16,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [17,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [18,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [19,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [20,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [21,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [22,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [23,]     0      0      0      0  0.6      0 0.0000000      0      0
## [24,]     0      0      0      0  0.6      0 0.0000000      0      0
## [25,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [26,]     0      0      0      0  0.8      0 0.0000000      0      0
## [27,]     0      0      0      0  0.6      0 0.0000000      0      0
## [28,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
## [29,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [30,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [31,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [32,]     0      0      0      0  0.0      0 0.0000000      0      0
## [33,]     0      0      0      0  0.4      0 0.0000000      0      0
##
## $beta
##      [,1] [,2]
## [1,] 0.000000 0.000
## [2,] 0.000000 0.000
## [3,] 0.000000 0.000
## [4,] 0.000000 0.000
## [5,] 8.920000 0.138
## [6,] 4.880000 0.132
## [7,] 1.780000 0.152
## [8,] 6.591194 0.000
## [9,] 0.000000 0.000
## [10,] 0.000000 0.000
## [11,] 2.120000 0.208
## [12,] 1.520000 0.138

```

```

## [13,] 1.420000 0.028
## [14,] 2.840000 0.026
## [15,] 0.000000 0.000
## [16,] 7.920000 0.038
## [17,] 0.000000 0.000
## [18,] 0.000000 0.000
## [19,] 0.000000 0.000
## [20,] 0.000000 0.000
## [21,] 0.000000 0.000
## [22,] 1.120000 0.118
## [23,] 0.180000 0.002
## [24,] 3.180000 0.052
## [25,] 0.520000 0.048
## [26,] 0.040000 0.026
## [27,] 0.780000 0.062
## [28,] 2.820000 0.198
## [29,] 0.000000 0.000
## [30,] 0.000000 0.000
## [31,] 0.000000 0.000
## [32,] 0.000000 0.000
## [33,] 0.720000 0.018

```

```
##
```

```
## $gamma
```

```

##      [,1]      [,2]      [,3]      [,4]      [,5]      [,6]      [,7]
## [1,]  0      0.0000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
## [2,]  0      0.0000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
## [3,]  0      0.0000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
## [4,]  0      0.0000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000  0.000000
## [5,]  0 15446.6000 10.300000  8.350000  59.050000  0.400000 280.8000
## [6,]  0 1321.4000 22.250000 22.42000 112.04000 4.640000 833.2000
## [7,]  0  385.4000 26.390000 30.72000  29.54000 3.650000 690.2000
## [8,]  0 1703.7911  6.907242 28.27537  0.000000 3.401889 756.9191
## [9,]  0      0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [10,] 0      0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [11,] 0 1463.6000 11.550000 19.68000  17.86000 4.690000 237.8000
## [12,] 0   83.6000 17.830000 22.08000 109.06000 1.040000 594.8000
## [13,] 0 1337.6000 16.670000 12.58000  9.86000 1.030000 307.8000
## [14,] 0 2580.2000 39.000000 10.76000  50.62000 3.160000  0.6000
## [15,] 0   0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [16,] 0 20289.6000 28.790000 19.38000  56.06000 3.310000 304.8000
## [17,] 0   0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [18,] 0   0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [19,] 0  462.6842 13.657368 18.66316 12.93684 1.515789 237.2105
## [20,] 0   0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [21,] 0   0.0000  0.000000  0.000000  0.000000 0.000000  0.000000
## [22,] 0 1463.6000  6.500000  9.58000  23.06000 0.950000 1140.8000
## [23,] 0   23.4000  8.570000 22.12000  35.84000 1.230000  381.2000
## [24,] 0 4829.4000 21.630000 20.32000  20.44000 2.530000  299.2000
## [25,] 0 1729.6000  9.900000 13.18000  8.06000 0.720000  169.8000
## [26,] 0   46.2000  6.500000 12.46000  53.72000 4.230000  104.6000

```

```

## [27,] 0 835.4000 10.400000 25.52000 103.04000 4.130000 1352.2000
## [28,] 0 2095.6000 14.450000 14.18000 15.86000 2.870000 1102.8000
## [29,] 0 0.0000 0.000000 0.00000 0.00000 0.000000 0.0000
## [30,] 0 0.0000 0.000000 0.00000 0.00000 0.000000 0.0000
## [31,] 0 0.0000 0.000000 0.00000 0.00000 0.000000 0.0000
## [32,] 0 0.0000 0.000000 0.00000 0.00000 0.000000 0.0000
## [33,] 0 507.6000 26.500000 5.98000 17.66000 0.200000 83.8000
##
## $xslack
##      [,1] [,2]
## [1,] 0 0
## [2,] 0 0
## [3,] 0 0
## [4,] 0 0
## [5,] 0 0
## [6,] 0 0
## [7,] 0 0
## [8,] 0 0
## [9,] 0 0
## [10,] 0 0
## [11,] 0 0
## [12,] 0 0
## [13,] 0 0
## [14,] 0 0
## [15,] 0 0
## [16,] 0 0
## [17,] 0 0
## [18,] 0 0
## [19,] 0 0
## [20,] 0 0
## [21,] 0 0
## [22,] 0 0
## [23,] 0 0
## [24,] 0 0
## [25,] 0 0
## [26,] 0 0
## [27,] 0 0
## [28,] 0 0
## [29,] 0 0
## [30,] 0 0
## [31,] 0 0
## [32,] 0 0
## [33,] 0 0
##
## $yslack
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7]
## [1,] 0 0 0 0 0 0 0
## [2,] 0 0 0 0 0 0 0
## [3,] 0 0 0 0 0 0 0
## [4,] 0 0 0 0 0 0 0

```

```
## [5,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [6,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [7,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [8,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [9,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [10,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [11,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [12,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [13,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [14,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [15,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [16,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [17,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [18,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [19,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [20,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [21,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [22,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [23,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [24,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [25,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [26,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [27,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [28,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [29,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [30,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [31,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [32,] 0 0 0 0 0 0 0 0
## [33,] 0 0 0 0 0 0 0 0
```