

УДК 504.064

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЛАТИНСКОЙ АМЕРИКЕ И КАРИБСКОМ БАССЕЙНЕ: ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ МЕТОДОВ И БОЛЬШИХ ДАННЫХ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ

Рафф Клаудио, Центр институциональных исследований, Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

Шамаева Екатерина Федоровна, Центр проектирования устойчивого развития институтов гражданского общества, Государственный университет управления, Москва, Россия

Гутьеррес Бастиан, Центр институциональных исследований, Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

Матеу Алексис, Центр институциональных исследований, Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

Головин Андрей Аркадьевич, Центр проектирования устойчивого развития институтов гражданского общества, Государственный университет управления, Москва, Россия

Пугач Алексей Дмитриевич, Центр проектирования устойчивого развития институтов гражданского общества, Государственный университет управления, Москва, Россия

Корнехо Кристиан, Центр институциональных исследований, Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

Руис Марсело, Центр институциональных исследований, Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

Аббас Надежда, Центр институциональных исследований, Университет Бернардо О'Хиггинса, Сантьяго, Чили

Аннотация

В нынешних условиях, характеризующихся ростом озабоченности экологическими последствиями деятельности человека, особое внимание уделяется устойчивому развитию и оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС). Комиссия Брундтланд подчеркивает важность удовлетворения текущих потребностей без ущерба для будущих потребностей, что способствует заключению международных соглашений и разработке государственной политики для преодоления экологического кризиса. В Латинской Америке и Карибском бассейне принята Латиноамериканская и карибская инициатива по устойчивому развитию (ИЛАК), направленная на содействие устойчивому развитию в ключевых областях. Для оценки прогресса используются экологические показатели, однако сложный характер данных затрудняет измерение и мониторинг динамики окружающей среды. Такие модели, как «воздействие-состояние-реакция» (ВСР) и «движущие силы-давление-состояние-последствия-реагирование» (ДСПР), помогают анализировать взаимодействие между деятельностью человека, воздействием на окружающую среду, её состоянием и реакцией общества. Энергоэффективность и целевое назначение имеют решающее значение для устойчивого использования энергетических ресурсов и сокращения выбросов. Динамические двойные диаграммы (биграфики, от англ. biplot) и многомерный анализ позволяют нам изучить эволюцию переменных и стран с точки зрения установленной мощности для производства электроэнергии, пропорций возобновляемых источников первичной энергии и субсидий на ископаемое топливо. Тенденции в увеличении мощностей по производству возобновляемой энергии очевидны, в то время как корреляция между долей субсидий на ископаемое топливо и долей возобновляемых источников энергии в структуре первичного энергопотребления представляет собой слабую обратную зависимость. Несмотря на то, что сбор и анализ экологической информации сопряжены с трудностями, оценка показателей и концептуальных моделей способствует пониманию динамики окружающей среды и прогресса на пути к устойчивому развитию в регионе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивое развитие, экологические показатели, возобновляемая энергия, многомерные методы.

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL AND ENERGY INDICATORS IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: AN EVALUATION FROM MULTIVARIATE TECHNIQUES AND BIG DATA ON SUSTAINABILITY

Ruff Claudio, Institutional Research Center, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile

Shamaeva Ekaterina Fedorovna, Center for Sustainable Development Design, State University of Management, Moscow, Russia

Gutiérrez Bastián, Institutional Research Center, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile

Matheu Alexis, Institutional Research Center, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile

Golovin Andrey Arkadievich, Center for Sustainable Development Design, State University of Management, Moscow, Russia

Pugach Alexey Dmitrievich, Center for Sustainable Development Design, State University of Management, Moscow, Russia

Cornejo Cristián, Institutional Research Center, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile

Ruiz Marcelo, Institutional Research Center, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile

Abbas Nadezda, Institutional Research Center, Universidad Bernardo O'Higgins, Santiago, Chile

Abstract

In the current context of concern for environmental impacts derived from human activity, the focus on sustainable development and environmental impact assessment (EIA) has gained prominence. The Brundtland Commission highlights the importance of meeting current needs without compromising future ones, leading to international treaties and public policies to address the environmental crisis. In Latin America and the Caribbean, the Latin American and Caribbean Initiative for Sustainable Development (ILAC) seeks to promote sustainable development in key areas. Environmental indicators are used to measure progress, but the complexity of the data presents challenges in measuring and monitoring environmental dynamics. Models such as Pressure-State-Response (PSR) and Driving Forces-Pressure-State-Impact-Response (FPEIR) help to analyze the interactions between human activities, environmental pressures, states and societal responses. Energy efficiency and destination are crucial for sustainable use of energy resources and emission reduction. Dynamic biplots and multivariate analyses allow us to examine the evolution of variables and countries in terms of installed capacity to produce electricity, proportions of renewable primary energy supply and fossil fuel subsidies. Trends in the increase of renewable energy production capacity are evident, while the correlation between the proportion of fossil fuel subsidies and the renewable proportion of primary energy supply presents a weak inverse relationship. Although environmental information presents challenges, the analysis of indicators and conceptual models contributes to the understanding of environmental dynamics and progress towards sustainable development in the region.

KEYWORDS: sustainable development, environmental indicators, renewable energy, multivariate methods.

Введение

Одной из основных проблем, с которыми сегодня сталкивается человечество, является негативное воздействие на окружающую среду, вызванное вмешательством человека. Катастрофические последствия изменения климата, такие как снижение доступности воды, повышение экологической уязвимости и постоянное ухудшение состояния окружающей среды, которые вызвали загрязнение воздуха, почвы и воды, привели к тому, что в общественных дебатах

стало уделяться больше внимания к неминуемому риску экологического кризиса (Ladislav and Fonden, 2019).

Это, несомненно, привело к заключению ряда международных соглашений с целью разработки государственной политики, направленной на обеспечение устойчивого развития государств. В докладе «Наше общее будущее» (СММАД, 1987) комиссии Брундтланд, учрежденной Генеральной Ассамблеей в 1983 году, термин «устойчивое развитие» определяется как развитие, отвечающее потребностям нынешних поколений без ущерба для способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. А также удовлетворение потребностей, связанных с повесткой в области охраны окружающей среды, наряду с обеспечением развития стран с более низкими уровнями прогресса (СЕРАЛ, 2023).

Исходя из этого, одной из наиболее пропагандируемых глобальных стратегий предотвращения деградации окружающей среды является Механизм оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), который получил огласку после Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию в 1992 году (СНУМАД, 1992). На сегодняшний день 191 страна - член Организации Объединенных Наций включила этот процесс в свои политические программы, как важный инструмент экологической государственной политики (Perevochtchikova, 2012 год).

Это предполагает интеграцию в секторальную государственную политику целей экологической политики, а также соответствующих концепций и последствий. По этой же причине одним из основных аспектов, над которым предполагается неизбежная работа, является обработка экологической информации, которая будет полезна для протекания политических процессов (Мантейга, 2000). Таким образом, необходимо выработать общую концептуальную структуру, основанную на согласовании концепций и определений. Для ОЭСР, а также для ее стран-членов крайне важно сформулировать, идентифицировать и определить индикаторы, а также разработать руководство по их использованию в связке с оценкой результативности экологической деятельности (ОСДЕ, 2006).

В Латинской Америке и Карибском бассейне 31 августа 2002 года на первом совещании Форума министерств окружающей среды этого региона была принята Латиноамериканская и карибская инициатива по устойчивому развитию (ИЛАК). Она считается основным инструментом содействия устойчивому развитию и состоит из шести целей, разделенных на

шесть областей: биологическое разнообразие; рациональное использование водных ресурсов, уязвимость, населенные пункты и устойчивые города; социальные вопросы (здравоохранение, неравенство и нищета), экономические аспекты (конкурентоспособность, торговля, модели производства и потребления) и институциональные вопросы (PNUMA, 2010).

Для проведения такого рода исследований требуется первичная информация, полученная через сети мониторинга окружающей среды, а именно экологические показатели, которые затем будут переданы гражданскому населению и лицам, принимающим решения (Perevochtchikova, 2013). Экологические показатели — это показатели, которые описывают и отображают состояние и основную динамику окружающей среды (ECLAC, 2009). Несмотря на наличие этого инструмента, очевидно, что экологические данные носят сложный характер, связанный с природой их сбора, что является проблемой для национальных статистических систем. Именно поэтому, подходя к динамике окружающей среды с точки зрения ее обширности и сложности, понимая ее изменчивый характер, можно обозначить трудную задачу определения размеров и их измерения во времени (CEPAL, 2009).

Несмотря на особенности, которые необходимо учитывать при измерении состояния окружающей среды, есть авторы, которые углубились в проблематику и используют в своих исследованиях различные типы показателей и моделей, чтобы систематизировать информацию. Одной из них является модель «воздействие-состояние-реакция» (BCR), разработанная Френдом и Раппортом (Pino, 2001) в конце 1980-х годов, данная модель принята и распространена ОЭСР. В ней поясняется, что деятельность человека прямо и косвенно оказывает «воздействие» на окружающую среду, которое качественно и количественно влияет на «состояние» природных ресурсов. Население реагирует на эти воздействия путем проведения соответствующих экологических, экономических и отраслевых политик, осознавая предпринятые меры, что называется «реакцией». Эта модель полезна для выявления факторов воздействия, состояний и реакций со стороны лиц, принимающих решения, и общества, даже несмотря на то, что существует прямая зависимость между природоохранными действиями, осуществляемых по мере их влияния, а также наличием связи между окружающей средой и экономикой (OECD, 2002).

Данная модель была адаптирована в соответствии со степенью точности и конкретными характеристиками условий окружающей среды. Так, в качестве примера рассматривается модель

«движущая сила-государство-реакция», используемая НПК ООН (2001 г.). Используются показатели устойчивого развития (Polanco, 2006).

Европейское агентство по окружающей среде (ЕАОС) создало несколько более сложную аналитическую структуру, чем, ранее описанная ОЭСР модель, она носит название «движущая сила-давление-состояние-последствия-реакция» (ДДСПР) (Aguirre, 2010). Данная модель основана на последовательной эволюции, в которой социальное и экономическое развитие создает давление на окружающую среду, что приводит к различным изменениям в состоянии окружающей среды. Следствием этих изменений является воздействие на состояние здоровья, доступность ресурсов, природные экосистемы и на другие экологические аспекты. Это побуждает общество искать ответы у лиц, принимающих решения, и у государственных органов в целях совершенствования экономического и социального управления, снижения воздействия на окружающую среду, восстановления и оздоровление окружающей среды, а также устранение последствий негативного воздействия. Таким образом, модель включает в себя экологических и социально-экономических агентов ответственных за вредное воздействие на состояние здоровья и развитие человека, окружающую среду, общество и экономику.

Следовательно, обе упомянутые выше модели позволяют развивать системы показателей, которые полностью учитывают изучаемые экологические проблемы посредством взаимосвязей между причинами и следствиями (Aguirre, 2010).

Энергоэффективность и цели потребления

Энергоэффективность подразумевает оптимизацию использования энергии для снижения потребления ресурсов и минимизацию воздействия на окружающую среду, связанного с производством и использованием энергии. В свою очередь назначение энергии предполагает способ её использования, т. е. для чего она используется. Например, использование энергии может быть жилым, коммерческим, промышленным, транспортным и другими. Энергоэффективность и назначение важны для достижения устойчивого использования энергетических ресурсов и сокращения выбросов парниковых газов. (Fornillo, 2018).

В Латинской Америке существует сертификация в области устойчивого развития, связанная с энергоэффективностью, и предлагается, чтобы правительства стран региона рассмотрели вопрос о наличии государственных сертификатов в этой области. Кроме того, отмечается, что у правительств стран региона предусмотрена возможность заключения соглашения об омологации национальных сертификатов с международными сертификатами,

признанными на целевых экспортных рынках, на которых необходима сертификация, связанная с энергоэффективностью и назначением энергии. (Araya, & Correa, 2023)

Исследования, такие как работы Carpio и Coviello (2013) и Development Bank (2017), направлены на демонстрацию прогресса в области политики, обращая особое внимание на следующие аспекты: роль новых ключевых участников в области энергоэффективности и их эффективность; ресурсы и механизмы финансирования программ по энергоэффективности; результаты программ и существующие барьеры, как общие, так и специфические для каждой страны в исследованиях, а также уроки, извлеченные при разработке национальных программ и/или мероприятий по энергоэффективности.

Методология

По вопросам производства и потребления энергии из возобновляемых и невозобновляемых источников в Латинской Америке и Карибском бассейне существует несколько баз данных ЭКЛАК. Измерения в период с 2015 г. по 2020 г., которые включают в себя:

- Долю возобновляемых источников первичной энергии;
- Энергоемкость по видам экономической деятельности;
- Установленную мощность для производства электроэнергии в зависимости от источника;
- Возобновляемые источники первичного энергоснабжения;
- Доля возобновляемых источников в первичном энергоснабжении;
- Доля возобновляемых источников энергии, не связанных со сжиганием, в первичном энергоснабжении;
- Доля возобновляемых источников энергии в общем объеме энергоснабжения;
- Доля возобновляемых источников энергии в общем конечном потреблении энергии;
- Субсидии на ископаемое топливо.

Статистическая методология

Многомерный анализ

В рамках анализа рассматривалась обработка многомерных данных с помощью методов двойных диаграмм (биграфиков, от англ. biplot), визуализаций, способных отображать более двух переменных и несколько статистических признаков в двумерном графическом представлении,

основанных на главных компонентах, вычисленных в матрице декомпозиции, которую было решено использовать (Gabriel, 1971).

В данных отображениях переменные представлены векторами или стрелками, указывающими в направлении роста переменной, а длина переменной представляет ее изменчивость, что указывает на то, что углы, близкие к 0° или 360° , представляют сильные прямые корреляции, углы, близкие к 180° , представляют сильные обратные корреляции, а углы, близкие к 90° , представляют независимость. Кроме того, признаки будут лучше представлены переменной, чем ближе они к вектору, который ее представляет, и ортогональные проекции на них могут дать представление о значении выше или ниже среднего с точки зрения доли стандартного отклонения.

В зависимости от факторизации, выполняемой при декомпозиции многомерных данных, может быть получено лучшее качество представления переменных или индивидуумов в графических представлениях. Галиндо разработала метод NJ-Biplot, основанный на максимальном качестве представления переменных и индивидуумов в одной и той же визуализации (Galindo, 1986).

Используя пакет R 'dynBiplotGUI', мы можем получить доступ к интерфейсу для динамического применения методов Biplot, что позволяет задавать данные тремя способами (переменная, индивидуальная и моментная), что в свою очередь даёт возможность представлять траектории и эволюцию переменных или отдельных индивидуумов на разных этапах периода анализа с визуализацией периода, который мы оцениваем в качестве эталона. Для целей этого исследования и по умолчанию пакета R используются последние данные, действующие в нашем наборе данных исследования. (Мигелес, 2015).

Таким образом, как показано на рисунке 1, мы сможем идентифицировать траектории переменных или отдельных признаков в периоды анализа, имея возможность установить, в каких переменных статистические признаки лучше всего представлены во времени.

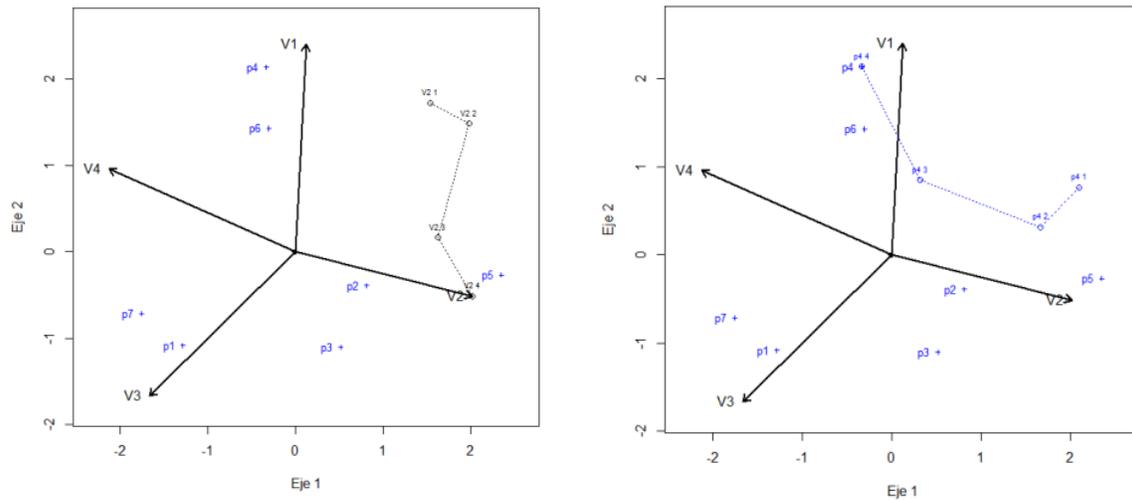


Рис. 1. Динамические биграфики, траектории переменных и статистических признаков

Тест на нормальность

Тест Шапиро-Уилка представляет в качестве нулевой гипотезы поведение в соответствии с нормальным распределением переменной, являющейся тестовой статистикой

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

где $x_{(i)}$ число, занимающее i -ю позицию в выборке, упорядоченное от наименьшего к наибольшему. \bar{x} представляет собой среднее значение переменной или выборочного среднего.

Переменные вычисляются a_i

$$(a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}}$$

где $m = (m_1, \dots, m_n)$, где m_1, \dots, m_n средние значения упорядоченной статистики независимых и одинаково распределенных случайных величин, отобранных из нормальных распределений, а V обозначает ковариационную матрицу статистики этого порядка.

Гипотеза нормальности будет отвергнута, если значение статистики слишком мало (Shapiro & Wilk, 1965).

Корреляционный анализ

При проверке нашей гипотезы о нормальности переменных для анализа стоит использовать коэффициент корреляции Спирмена для переменных, который не отрицает нормальность. Если коэффициент корреляции близок к 1 — говорится о сильной прямой

корреляции, если близок к -1 — сильной обратной корреляции. Если коэффициент близок к 0 — говорится об отсутствии связи между переменными. Статистика рассчитывается по формуле:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Результаты

На рисунках 2 и 3 показана доля возобновляемых источников первичного энергоснабжения по типам источников, что отражает 73% от общей изменчивости данных с использованием в качестве базовой структуры 2019 года, что свидетельствует об отличном качестве представления, которое мы наблюдаем за этот период.

На рисунке 2 представлены траектории по годам, траектории практически не отличаются относительно стран. Мы наблюдаем сильную обратную корреляцию между долей возобновляемой энергии, получаемой из древесного топлива и гидроэнергией, и отсутствие связи с источниками энергии, получаемой из сахарного тростника и его производных.

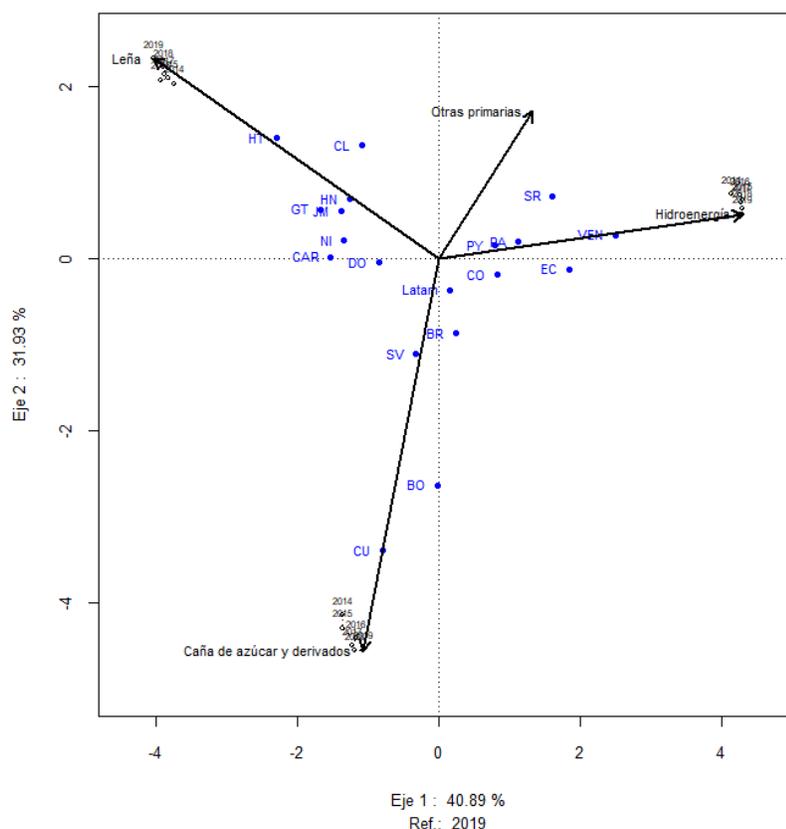


Рис. 2. Доля возобновляемых источников первичного энергоснабжения (требующих или не требующих сжигания) по типам источников (Var)

На рисунке 3 представлены траектории по странам. Рассматривается период с 2014 по 2019 год: подавляющее большинство стран с фильтром инерции более 50% не демонстрирует значительных изменений. За исключением Карибского бассейна, где в годы анализа наблюдались заметные различия для энергии, получаемой из сахарного тростника и древесного топлива.

Следует также отметить, что лучше всего представлены Куба и Венесуэла, как страны, лидирующие в использовании сахарного тростника и его производных в качестве основного источника возобновляемой энергии.

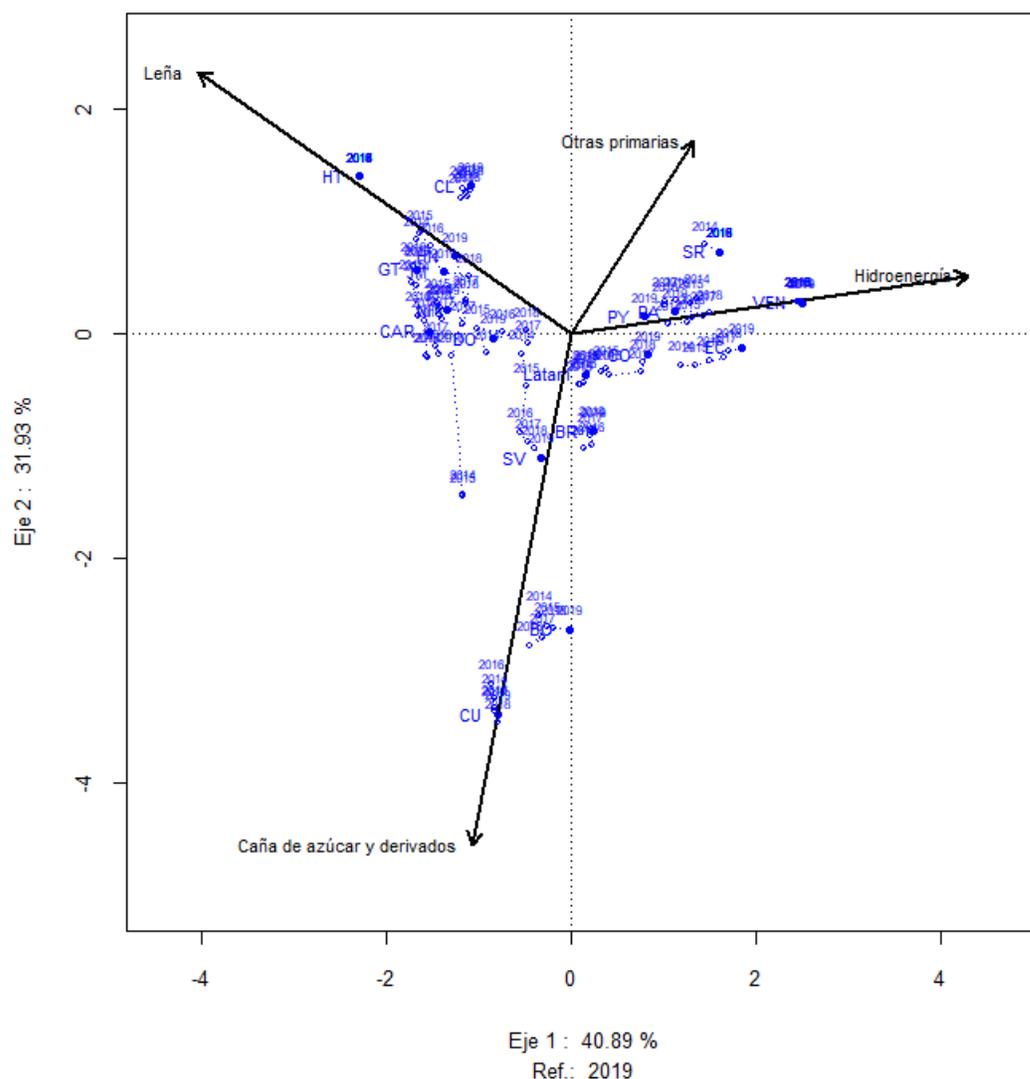


Рис. 3. Доля возобновляемых источников первичного энергоснабжения (требующих или не требующих сжигания) в разбивке по типам источников (страны)

На рисунках 4 и 5 представлена энергоёмкость по видам экономической деятельности в единицах тонн нефти на тысячу долларов за 2010 год (конечное потребление энергии / совокупная стоимость экономической деятельности в неизменных ценах в долларах США за 2010 год), которая объясняет 66% дисперсии данных и равномерно распределена между факторными компонентами один и два, обеспечивая надежное представление и учитывая фильтр инерции на уровне 60%. На рисунке 4 можно наблюдать изменение переменных в период с 2015 по 2019 год, и видно, что энергоёмкость в коммерческой и промышленной деятельности заметно увеличилась за исследуемый период, так же, как и энергоёмкость в сельском хозяйстве, рыболовстве и горнодобывающей промышленности. Однако в транспортной деятельности энергоёмкость практически не менялась в контексте разных стран.

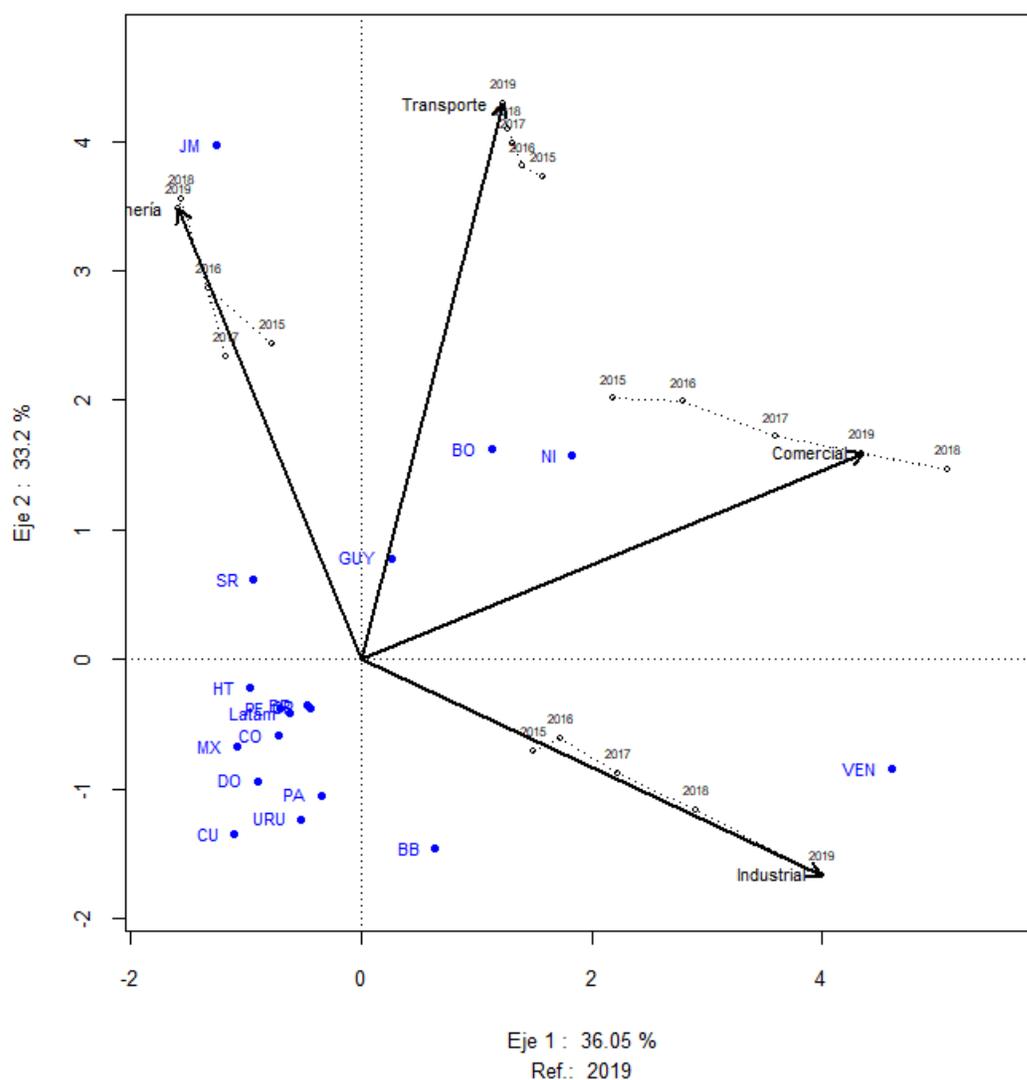


Рис. 4. Энергоёмкость по видам экономической деятельности (VAR)

На рисунке 5 показана траектория энергоёмкости деятельности по странам, где мы можем наблюдать интенсивное движение Венесуэлы в сторону промышленного и коммерческого сектора, доминирующего в этих видах деятельности. Кроме того, Ямайка широко представлена в переменной по сельскому хозяйству, рыболовству и добыче полезных ископаемых, а Гайана претерпела незначительные колебания в энергоёмкости в транспортной деятельности по сравнению с коммерческой и промышленной.

Внутри группы стран не наблюдается каких-либо существенных различий, кроме упомянутых, что подчеркивает, что Латинская Америка и Карибский бассейн в целом не представлены на графике с учетом инерционного фильтра, поэтому они не представляют значительных различий в период анализа.

На рисунке 5 представлена траектория энергоёмкости различных видов деятельности по странам. Мы можем наблюдать интенсивное продвижение Венесуэлы в промышленном и коммерческом секторах, заметно её доминирование в данных видах деятельности. Кроме того, Ямайка широко представлена в единице наблюдения, связанной с сельским хозяйством, рыболовством и добычей полезных ископаемых, а Гайана показала незначительные колебания в энергоёмкости в транспортной деятельности по сравнению с коммерческой и промышленной сферами.

Внутри группы стран не наблюдаются значительные различия, кроме упомянутых выше, что подчеркивает, что Латинская Америка и Карибский бассейн в целом не представлены на графике, учитывая инерционный фильтр, и, следовательно, они не демонстрируют значительных изменений в анализируемом периоде.

На рисунках 6 и 7 представлена установленная мощность производства электроэнергии по источникам, измеряемая в мегаваттах, которая в совокупности объясняет 98% дисперсии данных с отличным качеством представления. Следует отметить, что большая часть дисперсии распределена вдоль первой факторной оси, что делает горизонтальные изменения очевидными и окончательными в представлении. Однако из-за небольшой изменчивости, учтенной второй факторной осью, нельзя сделать однозначных выводов о вертикальной изменчивости.

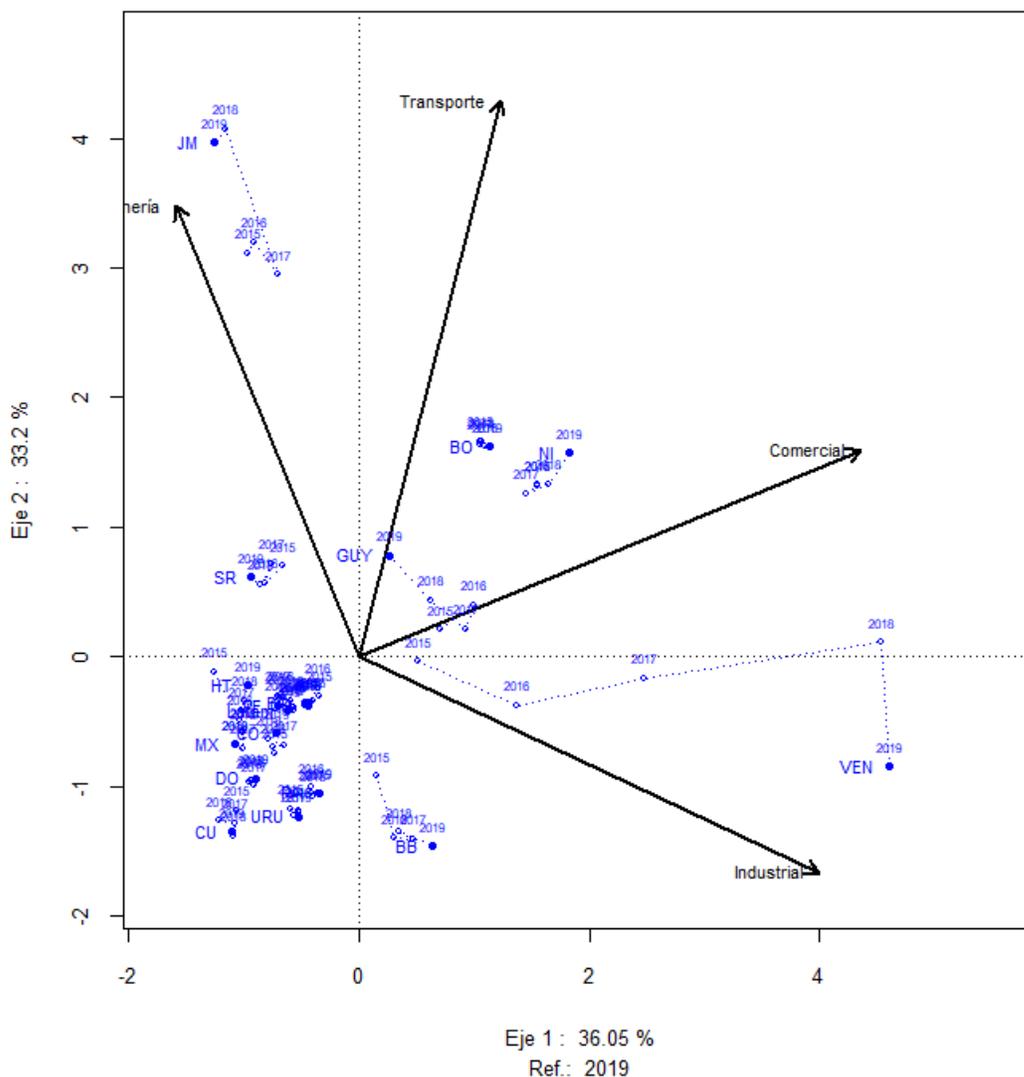


Рис. 5. Энергоемкость по видам экономической деятельности

На рисунке 6 показана изменчивость источников за период с 2015 по 2020 год. В этот период отмечается существенное увеличение установленной мощности для производства энергии из всех источников. Однако установленная мощность для производства электроэнергии из возобновляемых тепловых, не возобновляемых тепловых, геотермальных, ядерных и гидроэлектрических источников почти не изменяется, в то время как установленная мощность для производства электроэнергии из ветровых и солнечных источников показывает существенное положительное изменение, практически равное одному стандартному отклонению.

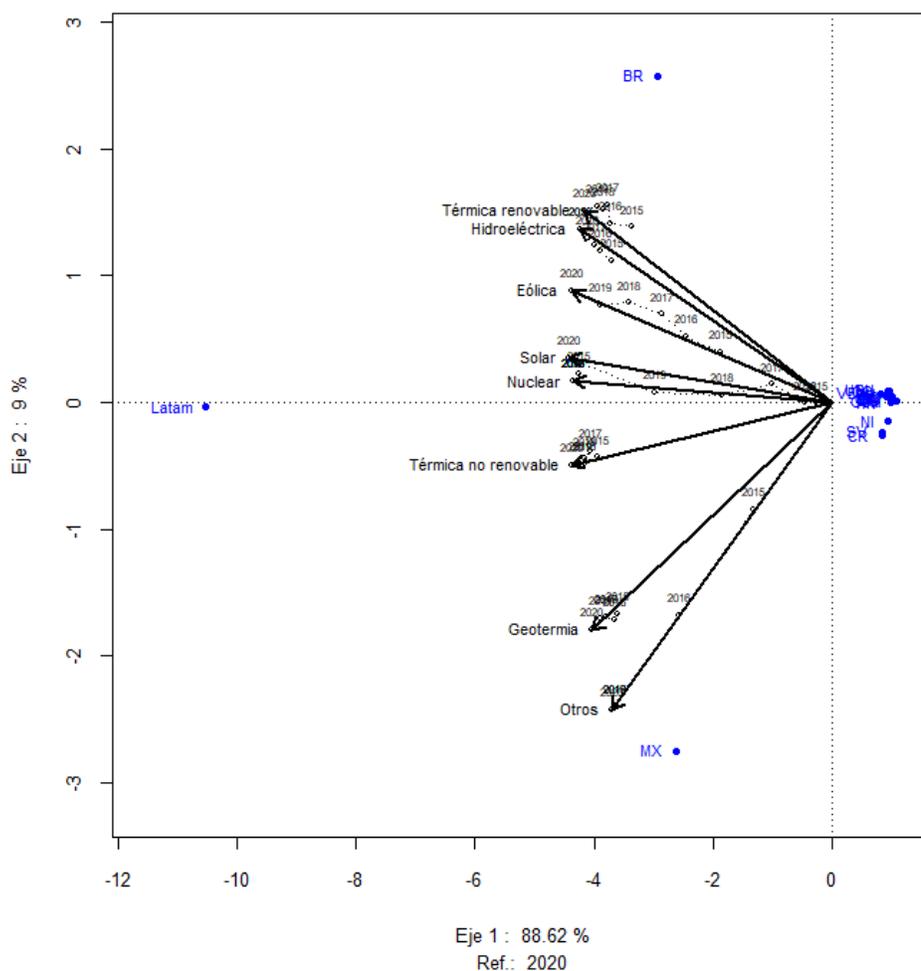


Рис. 6. Возобновляемое и не возобновляемое первичное энергоснабжение по типам ресурсов (VAR)

На рисунке 7 представлена траектория изменений в период анализа для различных стран Латинской Америки, при использовании инерционного фильтра на уровне 60%. Кроме того, в Таблице 1 отражается значительный рост установленной мощности для производства электроэнергии в Бразилии, который в основном связан с увеличением использования солнечных и ветровых источников, что помещает эту страну с широкими вариациями в первой четверти иллюстрации.

Таблица 1. Установленная мощность производства электроэнергии в Бразилии

Год	Ветряная энергия	Ветряная и гидроэнергия	Ядерная энергия	Солнечная энергия	Тепловая невозобновляемая энергия	Тепловые возобновляемые энергия
2015	7633	91650	1990	31	26307	13257
2016	10129	96925	1990	85	27146	14147
2017	12293	100319	1990	1096	27165	14716
2018	14400	104198	1990	2360	25737	14824
2019	15388	109155	1990	4465	26246	15036

Год	Ветряная энергия	Ветряная и гидроэнергия	Ядерная энергия	Солнечная энергия	Тепловая невозобновляемая энергия	Тепловые возобновляемые энергия
2020	17146	109294	1990	7934	27769	15383
Вариация	124,64%	19,25%	0,00%	25210,03%	5,56%	16,04%

Аналогичным образом, в таблице 2 показано значительное увеличение потенциала Мексики по производству электроэнергии с преобладающим увеличением тепловых, геотермальных и других не возобновляемых источников. С точки зрения стандартного отклонения переменной, именно они демонстрируют наибольшие различия в этой стране.

Таблица 2. Установленная мощность производства электроэнергии в Мексике

Год	Ветряная энергия	Геотермальная энергия	Гидроэнергия	Ядерная энергия	Другое	Солнечная энергия	Тепловая невозобновляемая энергия	Тепловые возобновляемая энергия
2015	2805	884	12489	1510	131	56	48801	1350
2016	3735	909	12589	1608	262	145	52331	1931,61
2017	3898	899	12612	1608	374	171	47166	1322
2018	4866	899	12612	1608	375	1878	49011	1709
2019	6050	899	12612	1608	375	3646	51547	1710
2020	6504	951	12612	1608	378	5149	53614	2305
Вариация	131,87%	7,58%	0,98%	6,49%	188,55%	9094,64%	9,86%	70,74%

Наконец, в Таблице 3 в целом по Латинской Америки и Карибского бассейна отражено общее увеличение установленной мощности для производства электроэнергии практически во всех источниках, за исключением ядерной энергии, при этом значительный рост отмечается в производстве ветровой и солнечной энергии.

Таблица 3. Установленная мощность производства электроэнергии в Латинской Америке и Карибском бассейне

Год	Ветряная энергия	Геотермальная энергия	Гидроэнергия	Ядерная энергия	Другое	Солнечная энергия	Тепловая невозобновляемая энергия	Тепловые возобновляемая энергия
2015	13795	1509	172203	5255	138	1420	160305	17941
2016	18037	1524	182186	5353	269	2491	169168	19845
2017	21089	1604	186385	5353	381	5116	165796	20125
2018	25229	1597	191206	5353	382	8856	169800	20572
2019	28883	1654	196539	5353	382	13736	172648	21041
2020	32552	1704	197020	5353	385	20007	177718	22292
Вариация	135,97%	12,89%	14,41%	1,86%	179,18%	1308,67%	10,86%	24,25%

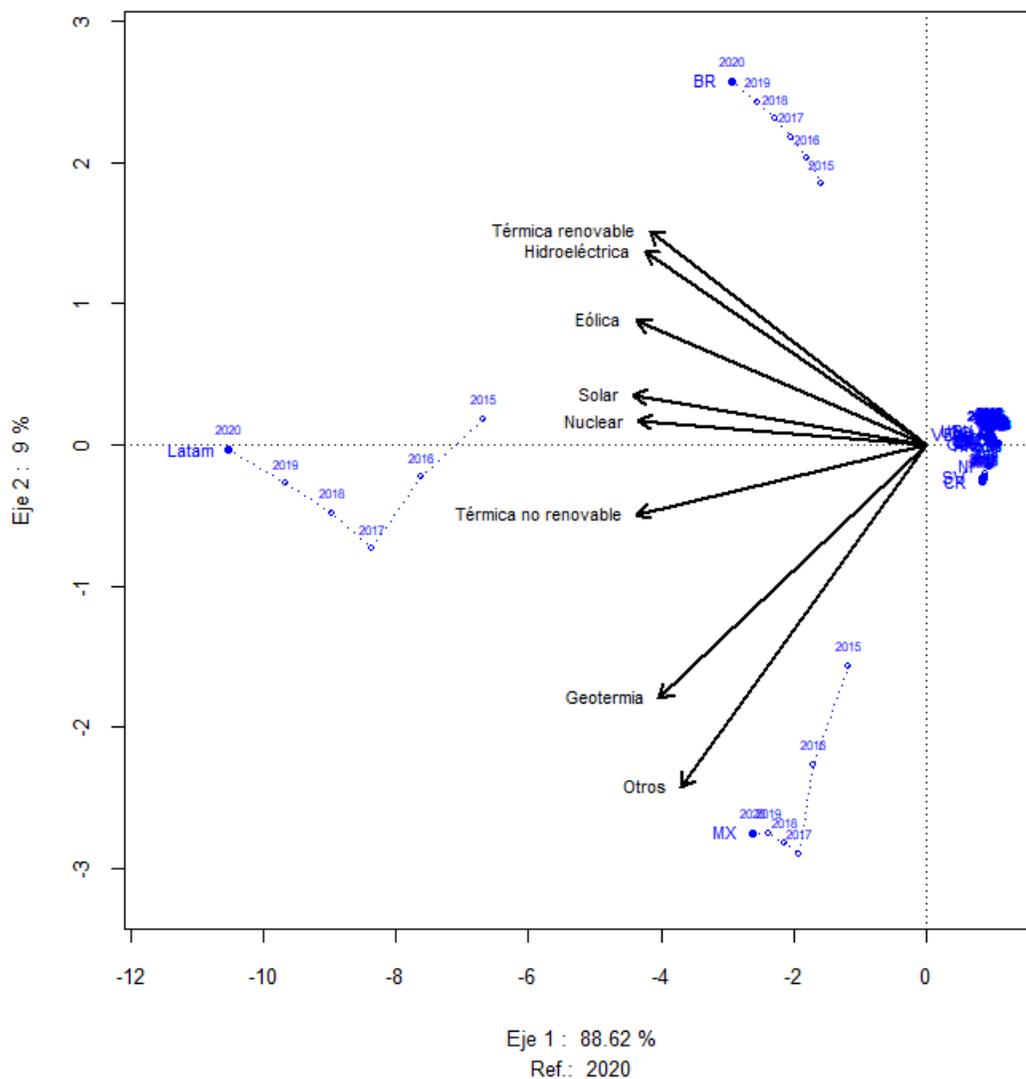


Рис. 7. Возобновляемое и невозобновляемое первичное энергоснабжение по типам ресурсов (страны)

На рисунках 8 и 9 показана динамика биграфиков доли возобновляемых источников энергии в первичном энергоснабжении (REN_PRIM), доли возобновляемых источников энергии без сжигания в первичном энергоснабжении (REN_NC_PRIM), доли возобновляемых источников энергии в общем объеме энергоснабжения (REN_OF_TOT) и доли возобновляемых источников в общем конечном потреблении энергии (REN_CON_TOT), демонстрирующих 87% поглощенной изменчивости, что обеспечивает отличное качество представления по первым двум факторным осям. Кроме того, в визуальном элементе был рассмотрен инерционный фильтр 60%, исключивший из визуализации страны с низкой вариативностью. На рисунке 8 показаны

траектории переменных с 2015 по 2020 год, которые не представляли инерционного фильтра, и можно наблюдать, что они не претерпели больших изменений в период анализа.

На рисунках 8 и 9 представлена динамика биграфиков доли возобновляемых источников энергии в первичном энергоснабжении (REN_PRIM), доли возобновляемых источников энергии без сжигания в первичном энергоснабжении (REN_NC_PRIM), доли возобновляемых источников энергии в общем объеме энергоснабжения (REN_OF_TOT) и доли возобновляемых источников в общем конечном потреблении энергии (REN_CON_TOT). Эти данные показывают 87% поглощенной изменчивости, что обеспечивает отличное качество представления в первых двух факторных осях. Кроме того, визуальный элемент включает инерционный фильтр на уровне 60%, исключая из визуализации страны с низкой вариабельностью. На рисунке 8 представлены траектории переменных с 2015 по 2020 год, без использования инерционного фильтра, и можно заметить, что они не подверглись существенным изменениям в анализируемом периоде.

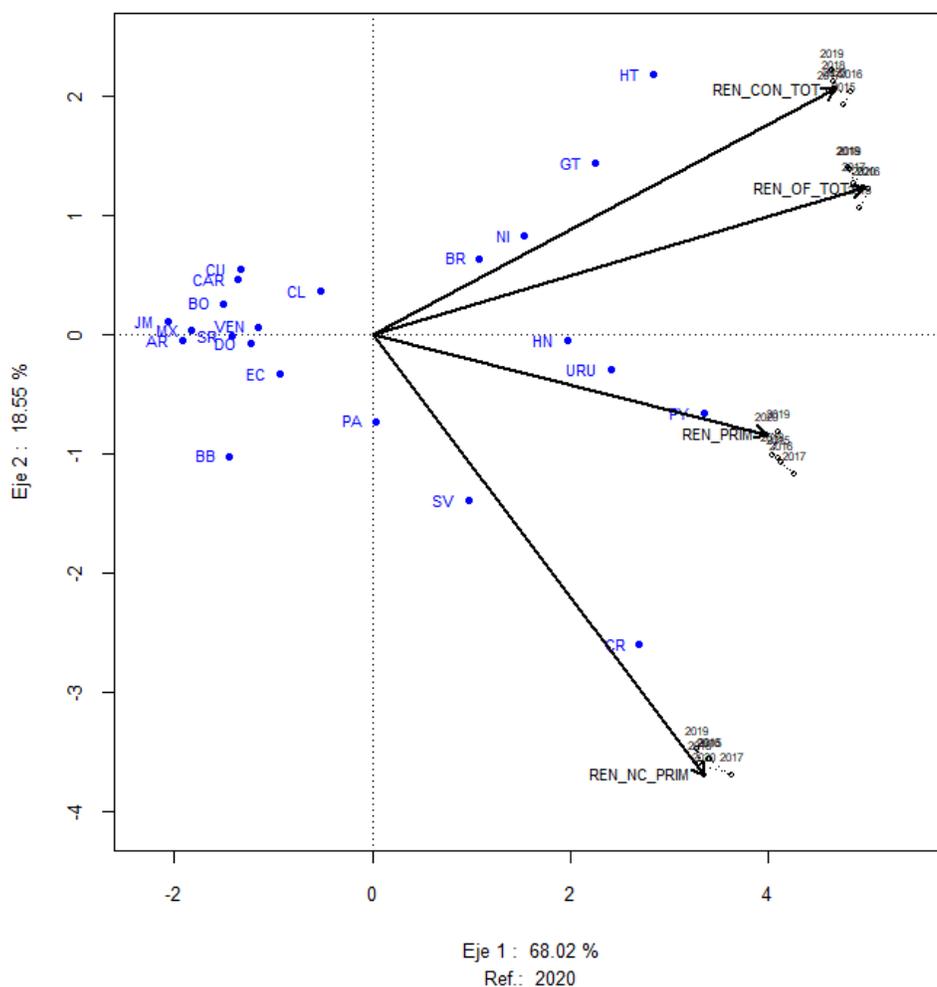


Рис. 8. Доля возобновляемых источников энергии в энергоснабжении

На рисунке 9 показаны траектории стран в период анализа, в случаях Панамы, Уругвая и Гондураса наблюдаются явные изменения. Что касается Панамы доля возобновляемых источников первичного энергоснабжения, не требующих сжигания, снизилась на более чем 7 процентных пунктов.

Таблица 4. Изменение доли возобновляемых источников энергии в энергоснабжении Панамы

Год	REN_PRIM	REN_NC_PRIM	REN_OF_TOT	REN_CON_TOT
2016	83,2002	58,389	23,08516375	22,1
2019	40,6115	27,166	17,21027404	18,91
2015	80,6598	55,4196	23,5986572	21,9
2017	94,9678	68,9135	23,67160891	23,6
2020	48,7743	34,0453	24,90469199	28,43
2018	75,5343	56,1274	24,35517546	24,44
Вариация	-7,6659	-2,2616	1,270011713	2,34

Аналогичным образом, на рисунке показано, что в Уругвае наблюдается незначительное снижение доли возобновляемых источников энергии в общем объеме энергоснабжения, при несущественном увеличении других пропорций. Отмечается значительное увеличение доли возобновляемых источников первичного энергоснабжения в Уругвае в 2017 и последующее регулирование в рамках исторических стандартов страны. Было бы разумно рассмотреть анализ причин этого последовательного увеличения и уменьшения более чем на 20 процентных пунктов, как показано в Таблице 5.

Таблица 5. Изменение доли возобновляемых источников энергии в энергоснабжении Уругвая

год	REN_PRIM	REN_NC_PRIM	REN_OF_TOT	REN_CON_TOT
2019	60,9322	51,9508	59,28621124	59,34
2016	59,121	49,5305	58,63346379	60,32
2015	60,9949	50,6441	57,53329204	59,4
2018	59,0878	49,429	59,12325725	60,83
2017	83,3695	70,2767	60,78135158	60,82
2020	61,1278	51,9929	59,12534996	61,09
Вариация	0,1956	0,0421	-0,160861281	1,75

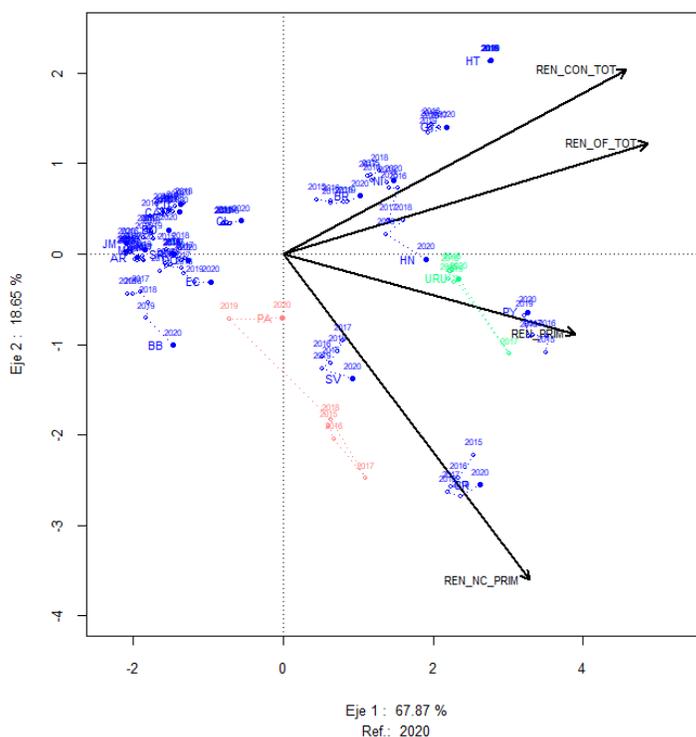


Рис. 9. Доля возобновляемых источников энергии в энергоснабжении

В таблице 6 показаны тесты нормальности переменных в последующем анализе, где заметно, что ни одна из 5 переменных не соответствует предположению о нормальности, поэтому мы рассчитаем корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена.

- Доля возобновляемых источников энергии в первичном энергоснабжении (REN_PRIM)
- Доля возобновляемых источников энергии, не связанных со сжиганием, в первичном энергоснабжении (REN_NC_PRIM)
- Доля возобновляемых источников энергии в общем объеме энергоснабжения (REN_OF_TOT)
- Доля возобновляемых источников энергии в общем конечном потреблении электроэнергии (REN_CON_TOT)
- Субсидии на ископаемое топливо (SUBS_FOS).

Таблица 6. Тест на нормальность

Переменная	Статистика	p-value
REN_PRIM	0,8243	6,07Э-10
REN_NC_PRIM	0,71946	2,20Э-16
REN_OF_TOT	0,89496	1,51Э-06
REN_CON_TOT	0,89874	2,50Э-06
SUBS_FOS	0,44623	2,20Э-16

На рисунке 10 показан график корреляции переменных, упомянутых выше, где видно, что корреляции Спирмена являются значимыми среди переменных первого анализа и показывают небольшую обратную корреляцию между субсидиями на ископаемое топливо, выраженными в процентах от ВВП, и возобновляемой долей первичного энергоснабжения.

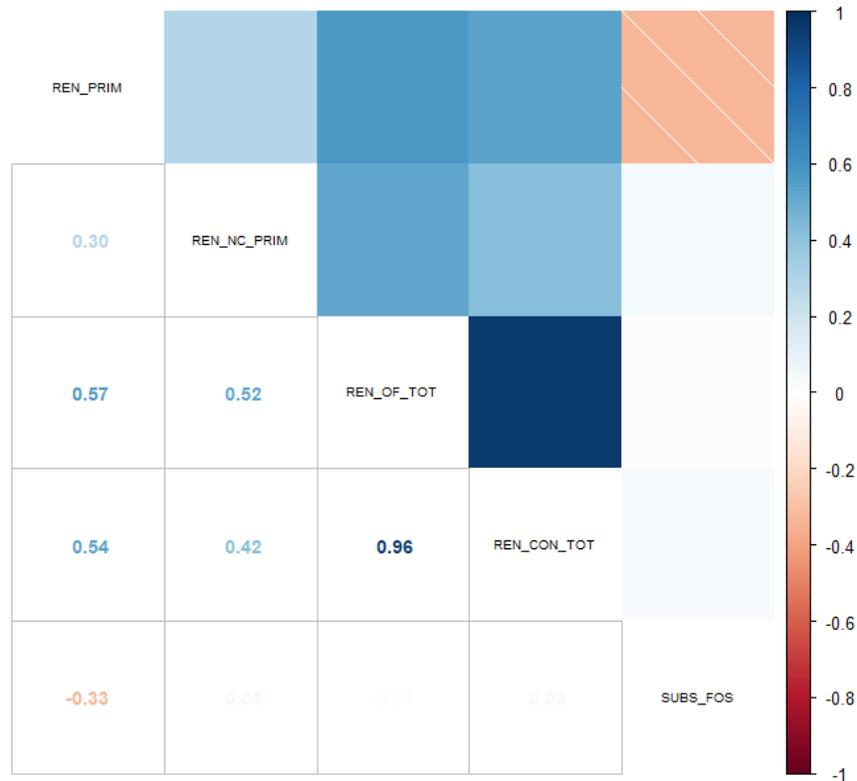


Рис. 10. Корреляционный график

На рисунке 11 мы видим, что эта обратная корреляция с годами становилась слабее в анализируемом периоде, приобретая тенденцию к независимости, которая может быть усилена с годами. Важно отметить, что корреляция магнитуды 0,3 считается слабой, но никогда не пренебрежимо малой обратной корреляцией, которая предполагает углубленный анализ с учетом того, что спрос на энергию растет общим и постоянным образом с годами, но должен быть напрямую связан с потреблением электроэнергии и долей генерируемой чистой энергии и энергии, не связанной со сжиганием.

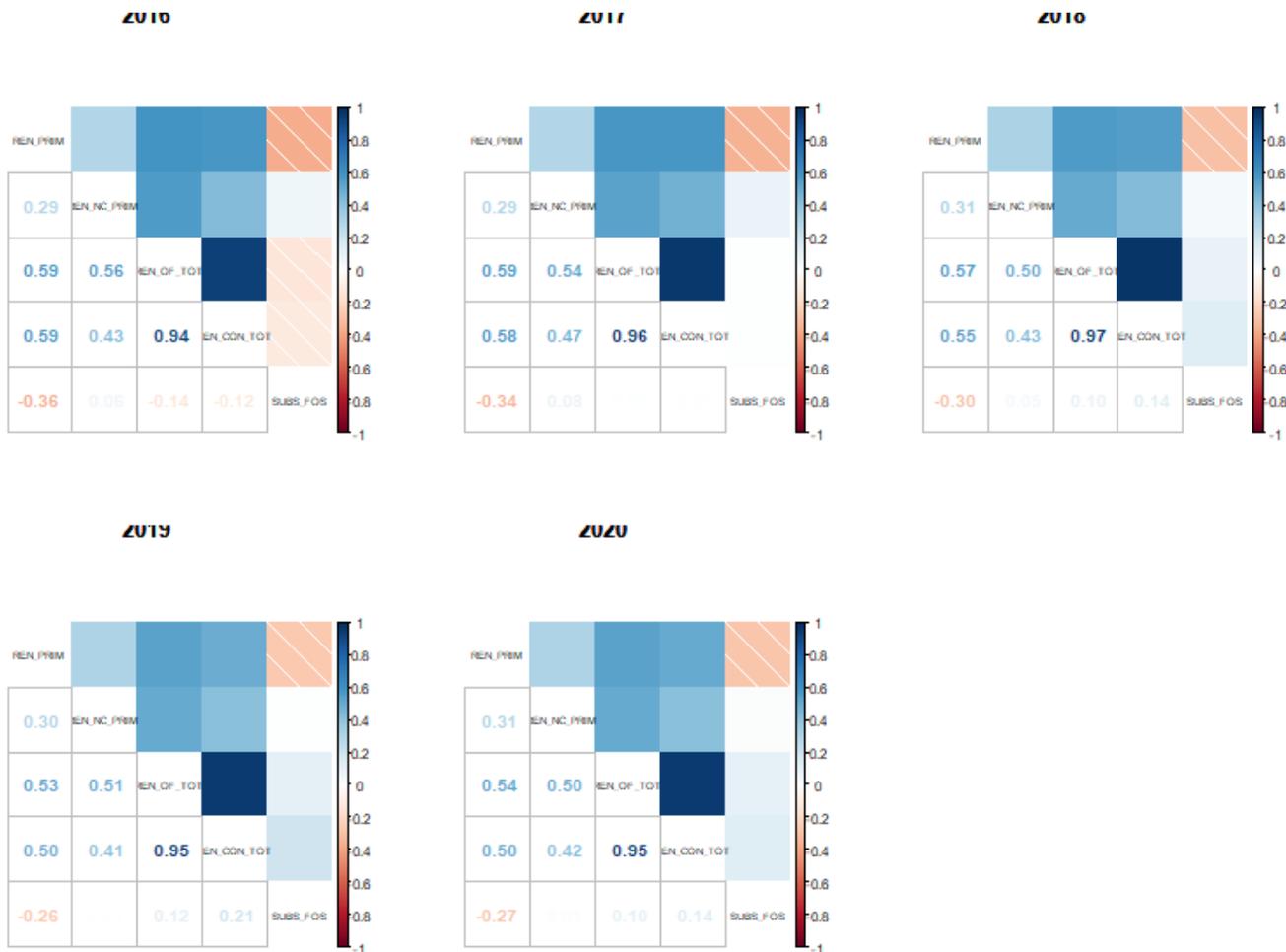


Рис. 11. Корреляции по годам

В таблице 7 показано явное увеличение доли возобновляемых источников первичного энергоснабжения, не требующих сжигания, в течение анализируемого периода, что также указывает на значительную тенденцию к снижению в 2020 году в сторону субсидирования ископаемого топлива.

Таблица 7. Изменения в доле возобновляемых источников энергии в Латинской Америке

Год	REN_PRIM	REN_NC_PRIM	REN_OF_TOT	REN_CON_TOT	SUBS_FOS
2015	50,820	16,386	28,551	28,830	0,512
2016	50,689	16,525	28,000	28,762	0,527
2017	53,015	18,113	28,704	29,467	0,543
2018	51,849	17,408	28,793	29,452	0,676
2019	50,845	16,375	27,900	28,426	0,686
2020	52,638	18,572	30,232	30,648	0,406
Итого	51,643	17,230	28,696	29,264	0,558
Вариация	1,817	2,185	1,682	1,817	-0,106

Выводы

В соответствии с динамическим анализом основных компонентов и корреляциями, представленными с точки зрения процентной доли субсидий и доли возобновляемых источников энергии в энергоснабжении, отмечается, что в период анализа в Латинской Америке произошел переход от первичных возобновляемых источников энергоснабжения к чистым и возобновляемым источникам энергии, таким как гидроэнергетика, которая медленно, но, верно, вытесняет энергию, связанную со сжиганием. Кроме того, наблюдается резкое повышение энергоемкости сельскохозяйственной, рыболовной и горнодобывающей промышленности, несмотря на заметную обратную корреляцию, что свидетельствует о существенном росте потребления энергии, главным образом в контексте Латинской Америки. Следовательно, подтверждается необходимость проведения исследований и анализа, направленных на оценку потребления с точки зрения чистоты и возобновляемости источников энергии для устойчивого будущего.

Следует также отметить, что в доле потребления возобновляемых источников энергии доля возобновляемых источников энергии, не требующих сжигания первичных источников энергоснабжения, демонстрирует самый высокий процентный рост за последние годы, что свидетельствует о малозаметной тенденции к обратной корреляции с субсидиями на ископаемое топливо в процентном выражении ВВП. Вышеизложенное в общих чертах описывает тенденции в Латинской Америке к потреблению энергии из экологически чистых источников и к сокращению потребления и субсидирования ископаемых видов топлива для производства энергии.

Наконец, делается вывод о том, что:

- В Латинской Америке и Карибском бассейне наблюдается значительный рост использования возобновляемых источников энергии с упором на такие источники, как ветер и солнечная энергия.
- Несмотря на то, что предложение возобновляемых источников энергии выросло, в некоторых странах по-прежнему существует значительная зависимость от не возобновляемых источников энергии.
- Энергоемкость в различных секторах экономики менялась с течением времени, по мере увеличения потребления в таких секторах, как промышленность и торговля.
- Установленная мощность производства электроэнергии в регионе значительно возросла, что отражает растущее внимание к диверсификации источников энергии.

- Корреляция между долями возобновляемых источников энергии и субсидиями на ископаемое топливо указывает на сложную и меняющуюся взаимосвязь между этими факторами.
- Несмотря на рост использования возобновляемых источников энергии, необходимо продолжать мониторинг и содействие их развитию для достижения большей энергетической устойчивости в регионе.
- В целом, эти результаты дают ценную информацию об эволюции поставок и потребления возобновляемой энергии в Латинской Америке и Карибском бассейне, подчеркивая как достижения, так и проблемы, с которыми сталкивается регион в своем стремлении к более устойчивому энергетическому будущему.

Литература

1. Aguirre, M. (2010). *Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente*. Consultor Ambiental. Punto Focal Nacional de la Agencia Europea de Medio Ambiente. Subdirección General de Calidad Ambiental, Ministerio de Medio Ambiente. http://www.earthgonomic.org/biblioteca/Diplomado_Modulo5/Tema1_Los-sistemas-de-indicadores-ambientales-y-su-papel-en-la-informacion-e-integracion-del-medio-ambiente.pdf
2. Araya, N., & Correa, F. (2023). Certificaciones empresariales de sostenibilidad en América Latina y el Caribe. CEPAL. (2023). Acerca del Desarrollo Sostenible. <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>
3. Carpio, C., & Coviello, M. (2013). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio.
4. CMMAD. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nota del Secretario General. Naciones Unidas. https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
5. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (cnumad) (1992), Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Río de Janeiro, onu.
6. de Desarrollo, B. I. (2017). Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y oportunidades.
7. Fornillo, B. (2018). Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y posdesarrollo. *Prácticas de Oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales*, (20).

8. Gabriel, K. (1971). The biplot graphic display matrices with applications to principal components analysis. *Biometrika*, 58, 453-67.
9. Galindo, P. (1986). Una alternativa de representación simultánea: HJ-Biplot. *Qüestió*.
10. Ladisla, R. y Fonden, J. (2019). La evaluación del medio ambiente. Editorial CUJAE.
<https://www.researchgate.net/publication/335703812> La evaluacion del medio ambiente
11. Miguélez, J. É. (2015). BIPLLOT DINÁMICO. *Universidad de Salamanca*.
12. Monteiga, L. (2000). Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas. Instituto de Estadística de Andalucía.
https://www.miajadas.org/wp-content/uploads/2018/11/Los_indicadores_ambientales_como_instrumento_de_desarrollo.pdf
13. OCDE. (2006). Evaluación de Desempeño Ambiental
14. Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. Scielo. <https://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v22n2/v22n2a1.pdf>
15. Pino, E., 2001. Análisis de indicadores de sostenibilidad ambiental y urbana en las Agendas 21 local y ecoauditorias municipales. El caso de las regiones urbanas europeas. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.
16. PNUMA. (2010). Informe Anual: síntesis del año.
https://www.iri.edu.ar/publicaciones_iri/anuario/cd_anuario_2011/Mayd/Programa%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20para%20el%20Medio%20Ambiente%20-%20Informe%202010.pdf
17. Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones Gestión y Ambiente, vol. 9, núm. 2, agosto, 2006, pp. 27-41 Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169420986007.pdf>
18. Quiroga, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. CEPAL.
https://www.cepal.org/sites/default/files/courses/files/8_manual-61-cepal_formatoserie_color.pdf
19. Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 591-611.
20. United Nations, 2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Second Edition. New York. <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=111&menu=1515>