



**FACULTAD DE CIENCIAS**  
INSTITUTO DE CIENCIAS AMBIENTALES  
**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“La incompatibilidad entre la sustentabilidad débil y fuerte como resultado del incremento de complejidad de los sistemas económicos”**

**Caso de estudio: Comparación de Chile, Sudamérica y la OCDE.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**Profesor Guía: Héctor Andrade C.**

**William Pablo Ansa Calcina.**

**VALPARAÍSO, CHILE**

**ABRIL 2014**

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	I
ÍNDICE DE DE FIGURAS.....	II
RESUMEN.....	III

## CAPÍTULO I

<b>1. INCOMPATIBILIDAD SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE.....</b>	<b>10</b>
1.1. SUSTENTABILIDAD FUERTE.....	10
1.2. SUSTENTABILIDAD DÉBIL.....	12
1.3. INTERPRETACIÓN CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS.....	13
1.4. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD.....	14
1.4.1. PRODUCTO INTERNO BRUTO PER CAPITA AJUSTADO POR PARIDAD DE PODER ADQUISITIVO.....	17
1.4.2. AHORRO GENUINO.....	18
1.4.3. ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO AJUSTADO POR DESIGUALDAD.....	19
1.4.4. ÍNDICE DESEMPEÑO AMBIENTAL.....	21
1.4.5. ÍNDICE DE SOCIEDAD SUSTENTABLE.....	22
1.4.6. HUELLA ECOLÓGICA .....	24
1.4.7. HUELLA DE CARBONO .....	26
1.4.9. ÍNDICE DE PLANETA FELIZ.....	27

## CAPÍTULO II

<b>2. COMPLEJIDAD Y PATRONES EN SISTEMAS ECONÓMICOS.....</b>	<b>28</b>
2.1. PATRONES ENERGÉTICOS EN SISTEMAS ECONÓMICOS.....	30
2.2. ÍNDICES DE COMPLEJIDAD.....	33
2.2.1. ÍNDICE DENSIDAD EMERGÉTICA.....	33
2.2.2. ÍNDICE EMERGÍA ESPECÍFICA POR UNIDAD DE DÓLAR.....	34
2.3.3. ÍNDICE COMPLEJIDAD ECONÓMICA EXPORTACIONES.....	35

## CAPÍTULO III

<b>3. PROBLEMA.....</b>	<b>37</b>
3.1 OBJETIVOS.....	39
3.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	39
3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
<b>4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>

## CAPÍTULO IV

<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>138</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>141</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>155</b>

## ÍNDICES DE TABLAS

Tabla N°1. Diferencias entre sustentabilidad fuerte y débil.....	10
Tabla N°2. Objetivos, políticas e indicadores del EPI.....	22
Tabla N°3. Categorías e indicadores de SSI.....	23
Tabla N°4. Estado de desarrollo de países según renta per cápita.....	42
Tabla N°5. Características índices de sustentabilidad.....	54
Tabla N°6. Países seleccionados para caso de estudio.....	54
Tabla N°7. Matriz de datos Índices de sustentabilidad en escalas originales.....	55
Tabla N°8. Matriz de datos Índices de sustentabilidad en escalas estandarizadas.....	56
Tabla N°9. Valores originales mínimos y máximos para escala estandarizada.....	57
Tabla N°10. Valores originales mínimos y máximos para escala estandarizada.....	84
Tabla N°11. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Bolivia.....	85
Tabla N°12. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Perú.....	86
Tabla N°13. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Paraguay.....	87
Tabla N°14. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Colombia.....	88
Tabla N°15. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Brasil.....	89
Tabla N°16. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Ecuador.....	90
Tabla N°17. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Argentina.....	91
Tabla N°18. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Venezuela.....	92
Tabla N°19. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Uruguay.....	93
Tabla N°20. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Suecia.....	94

Tabla N°21. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Reino Unido.....	95
Tabla N°22. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Japón.....	96
Tabla N°23. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Suiza.....	97
Tabla N°24. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Alemania.....	98
Tabla N°25. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Finlandia.....	99
Tabla N°26. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Holanda.....	100
Tabla N°27. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Dinamarca.....	101
Tabla N°28. Valores índices originales y estandarizados para Chile y Estados Unidos..	102
Tabla N°29. Valores medios índices para Chile, Sudamérica y la OCDE.....	103
Tabla N°30. Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación.....	107
Tabla N°31. Matriz de componente uno y dos.....	108
Tabla N°32. Descripción de Intensidad de Huella Ecológica (gha por US\$).....	118
Tabla N°33. Descripción de Densidad de Huella Ecológica (gha /m2).....	119
Tabla N°34. Descripción índices complejidad exportaciones.....	120
Tabla N°35. Matriz de datos de índices de complejidad para comparación de países.....	121
Tabla N°36. Matriz datos correlación entre índices de sustentabilidad y complejidad.....	130
Tabla N°37. Prueba de normalidad Sudamérica en SSI.....	159
Tabla N°38. Prueba de normalidad OCDE en SSI.....	159
Tabla N°39. Diferencias significativas en SSI mediante Análisis Varianza.....	159
Tabla N°40. Diferencias entre medias en SSI mediante prueba Tukey-Kramer.....	159
Tabla N°41. Prueba de normalidad Sudamérica en IDH-D.....	160
Tabla N°42. Prueba de normalidad OCDE en IDH-D.....	160
Tabla N°43. Diferencias significativas en IDH-D mediante Análisis Varianza .....	160
Tabla N°44. Diferencias entre medias en IDH-D mediante prueba Tukey-Kramer.....	160
Tabla N°45. Prueba de normalidad Sudamérica en PIB per cápita.....	161
Tabla N°46. Prueba de normalidad OCDE en PIB per cápita .....	161
Tabla N°47. Diferencias significativas en PIB per cápita mediante Análisis Varianza.....	161
Tabla N°48. Diferencias entre medias en PIB per cápita por prueba Tukey-Kramer.....	161
Tabla N°49. Prueba de normalidad Sudamérica en EPI.....	162
Tabla N°50. Prueba de normalidad OCDE en EPI.....	162
Tabla N°51. Diferencias significativas en EPI mediante Análisis Varianza.....	162
Tabla N°52. Diferencias entre medias en EPI mediante prueba Tukey-Kramer.....	162
Tabla N°53. Prueba de normalidad Sudamérica en SD.....	163
Tabla N°54. Prueba de normalidad OCDE en SD .....	163
Tabla N°55. Diferencias significativas en SD mediante Análisis Varianza.....	163
Tabla N°56. Diferencias entre medias en SD mediante prueba Tukey-Kramer.....	163
Tabla N°57. Prueba de normalidad Sudamérica en IPF.....	164
Tabla N°58. Prueba de normalidad OCDE en IPF.....	164
Tabla N°59. Diferencias significativas en IPF mediante Análisis Varianza.....	164
Tabla N°60. Diferencias entre medias en IPF mediante prueba Tukey-Kramer.....	164

Tabla N°61. Prueba de normalidad Sudamérica en IND-HE.....	165
Tabla N°62. Prueba de normalidad OCDE en IND-HE.....	165
Tabla N°63. Diferencias significativas en IND-HE mediante Kruskal Wallis.....	165
Tabla N°64. Prueba de normalidad Sudamérica en HE.....	166
Tabla N°65. Prueba de normalidad OCDE en HE.....	166
Tabla N°66. Diferencias significativas en HE mediante Análisis Varianza.....	166
Tabla N°67. Diferencias entre medias en HE mediante prueba Tukey-Kramer.....	166
Tabla N°68. Prueba de normalidad Sudamérica en HC.....	167
Tabla N°69. Prueba de normalidad OCDE en HC.....	167
Tabla N°70. Diferencias significativas en HC mediante Análisis Varianza.....	167
Tabla N°71. Diferencias entre medias en HC mediante prueba Tukey-Kramer.....	167
Tabla N°72. Prueba de normalidad Sudamérica en SF.....	168
Tabla N°73. Prueba de normalidad OCDE en SF.....	168
Tabla N°74. Diferencias significativas en SF mediante Análisis Varianza.....	168
Tabla N°75. Diferencias entre medias en SF mediante prueba Tukey-Kramer.....	168
Tabla N°76. Prueba de normalidad Sudamérica en Intesidad de HE.....	169
Tabla N°77. Prueba de normalidad OCDE en Intensidad de HE.....	169
Tabla N°78. Diferencias significativas en Intensidad HE mediante Análisis Varianza.....	169
Tabla N°79. Diferencias entre medias en Intensidad HE por prueba Tukey-Kramer.....	169
Tabla N°80. Prueba de normalidad Sudamérica en Densidad de HE.....	170
Tabla N°81. Prueba de normalidad OCDE en Densidad de HE.....	170
Tabla N°82. Diferencias significativas en Densidad HE mediante Análisis Varianza.....	170
Tabla N°83. Diferencias entre medias en Densidad HE por prueba Tukey-Kramer.....	170
Tabla N°84. Prueba de normalidad Sudamérica en Complejidad Export.....	171
Tabla N°85. Prueba de normalidad OCDE en Complejidad Export.....	171
Tabla N°86. Diferencias significativas Complejidad Exp mediante Análisis Varianza.....	171
Tabla N°87. Diferencias entre medias en Complejidad Exp por prueba Tukey-Kramer...	171
Tabla N°88. Tabla similitud Bray Curtis en índices de sustentabilidad débil.....	172
Tabla N°89. Tabla similitud Bray Curtis en índices de sustentabilidad fuerte.....	173
Tabla N°90. Tabla similitud Bray Curtis en índices de sustentabilidad ideal.....	174

## ÍNDICES DE FIGURAS Y GRÁFICOS

### FIGURAS

Figura N°1. Etapas de la Curva Ambiental de Kuznets.....	13
Figura N° 2. Composición IDH-D.....	20
Figura N° 3. Distribución territorial de flujo de energía y transformidad.....	31
Figura N° 4. Patrones energéticos en sistemas económicos.....	32

Figura Nº 5. Relación tasa metabólica y masa en ciudades.....	34
Figura Nº 6. Relación entre personbytes y capacidad de producción.....	35
Figura Nº 7. Analogía entre legos y países respecto a la capacidad de producción.....	36
Figura Nº 8. Representación gráfica radial.....	46
Figura Nº 9. Comparación países en escala original SSI 2008.....	58
Figura Nº 10. Comparación países en escala estandarizada SSI 2008.....	58
Figura Nº 11. Comparación países en escala original IDH-D 2010.....	59
Figura Nº 12. Comparación países en escala estandarizada IDH-D 2010.....	59
Figura Nº 13. Comparación países en escala original PIB per cápita PPA 2008.....	60
Figura Nº 14. Comparación países en escala estandarizada PIB per cápita PPA 2008.....	60
Figura Nº 15. Comparación países en escala original EPI 2008.....	61
Figura Nº 16. Comparación países en escala estandarizada EPI 2008.....	61
Figura Nº 17. Comparación sustentabilidad débil entre Chile, Sudamérica y OCDE.....	62
Figura Nº 18. Dendograma de Similitud Bray Curtis en sustentabilidad débil.....	64
Figura Nº 19. Gráfica espacial Similitud Bray Curtis en sustentabilidad débil.....	65
Figura Nº 20. Comparación países en escala original IPF 2008.....	71
Figura Nº 21. Comparación países en escala estandarizada IPF 2008.....	71
Figura Nº 22. Comparación países en escala original IND-HE 2007.....	72
Figura Nº 23. Comparación países en escala estandarizada IND-HE 2007.....	72
Figura Nº 24. Comparación países en escala original HE per cápita.....	73
Figura Nº 25. Comparación países en escala estandarizada HE per cápita.....	73
Figura Nº 26. Comparación países en escala original HC per cápita.....	74
Figura Nº 27. Comparación países en escala estandarizada HC per cápita.....	74
Figura Nº 28. Comparación sustentabilidad fuerte entre Chile, Sudamérica y OCDE.....	76
Figura Nº 29. Dendograma de Similitud Bray Curtis en sustentabilidad fuerte.....	77
Figura Nº 30. Gráfica espacial Similitud Bray Curtis en sustentabilidad fuerte.....	78
Figura Nº 31. Representación de sustentabilidad fuerte y débil óptima.....	84
Figura Nº 32. Comparación Chile – Bolivia en 8 índices simultáneamente.....	85
Figura Nº 33. Comparación Chile – Perú en 8 índices simultáneamente.....	86
Figura Nº 34. Comparación Chile – Paraguay en 8 índices simultáneamente.....	87
Figura Nº 35. Comparación Chile – Colombia en 8 índices simultáneamente.....	88
Figura Nº 36. Comparación Chile – Brasil en 8 índices simultáneamente.....	89
Figura Nº 37. Comparación Chile – Ecuador en 8 índices simultáneamente.....	90
Figura Nº 38. Comparación Chile – Argentina en 8 índices simultáneamente.....	91
Figura Nº 39. Comparación Chile – Venezuela en 8 índices simultáneamente.....	92
Figura Nº 40. Comparación Chile – Uruguay en 8 índices simultáneamente.....	93
Figura Nº 41. Comparación Chile – Suecia en 8 índices simultáneamente.....	94
Figura Nº 42. Comparación Chile – Reino Unido en 8 índices simultáneamente.....	95
Figura Nº 43. Comparación Chile – Japón en 8 índices simultáneamente.....	96
Figura Nº 44. Comparación Chile – Suiza en 8 índices simultáneamente.....	97

Figura Nº 45. Comparación Chile – Alemania en 8 índices simultáneamente.....	98
Figura Nº 46. Comparación Chile – Finlandia en 8 índices simultáneamente.....	99
Figura Nº 47. Comparación Chile – Holanda en 8 índices simultáneamente.....	100
Figura Nº 48. Comparación Chile – Dinamarca en 8 índices simultáneamente.....	101
Figura Nº 49. Comparación Chile – Estados Unidos en 8 índices simultáneamente.....	102
Figura Nº 50. Comparación Chile, Sudamerica y OCDE en 8 índices simultáneamente..	103
Figura Nº 51. Comparación Chile, Sudamérica y OCDE en la sustentabilidad ideal.....	104
Figura Nº 52. Dendograma similitud Bray Curtis para sustentabilidad ideal.....	105
Figura Nº 53. Gráfica espacial similitud Bray Curtis para sustentabilidad ideal.....	106
Figura Nº 54. Gráfica de sedimentación para sustentabilidad ideal.....	108
Figura Nº 55. Gráfica de componentes principales para índices de sustentabilidad.....	109
Figura Nº 56. Países en gráfica de puntuaciones en componentes principales.....	110
Figura Nº 57. Comparación países en Intensidad de HE 2007.....	122
Figura Nº 58. Comparación Chile con media de Sudamérica y OCDE en Intensidad HE.	122
Figura Nº 59. Comparación países en Densidad de HE 2007.....	123
Figura Nº 60. Comparación Chile con media de Sudamérica y OCDE en densidad HE..	123
Figura Nº 61. Comparación países en complejidad de exportaciones 2008.....	124
Figura Nº 62. Comparación Chile con Sudamérica y OCDE en complejidad export.....	124
Figura Nº 63. Relación entre sustentabilidad débil e Intensidad Huella ecológica.....	131
Figura Nº 64. Relación entre sustentabilidad fuerte e Intensidad Huella ecológica.....	132
Figura Nº 65. Relación entre sustentabilidad débil y Densidad Huella ecológica.....	133
Figura Nº 66. Relación entre sustentabilidad fuerte y Densidad Huella ecológica.....	134
Figura Nº 67. Relación entre sustentabilidad débil y Complejidad de exportaciones.....	135
Figura Nº 68. Relación entre sustentabilidad fuerte y Complejidad de exoportaciones..	136
Figura Nº 69. Intercambio comercial entre Bolivia y Suiza por US\$ 10'000.....	176
Figura Nº 70. Intercambio comercial entre Sudamérica y la OCDE por US\$ 10'000.....	177

## RESUMEN

Este trabajo compara un grupo de países mediante índices desde la perspectiva de la sustentabilidad débil, de la sustentabilidad fuerte y desde la perspectiva de la complejidad de sistemas. Se propone que los índices de sustentabilidad débil y fuerte son incompatibles por que evalúan diferentes efectos del incremento de complejidad en los países. Los resultados sugieren que la sustentabilidad débil evalúa los efectos de la complejidad al interior del sistema mientras que la sustentabilidad fuerte evalúa los efectos de la complejidad sobre el entorno del sistema, lo que causa la incompatibilidad.

Para desarrollar la propuesta se seleccionó un grupo de países compuesto por Chile, países de Sudamérica y países de la OCDE que fueron evaluados en tres grupos de índices: 1.- índices de sustentabilidad débil, 2.- índices de sustentabilidad fuerte, 3.- índices de complejidad. En la primera parte, los países fueron evaluados estadísticamente en los índices de sustentabilidad débil y fuerte para determinar si se presenta la incompatibilidad descrita teóricamente. En esta parte, la comparación fue hecha desde la perspectiva de la sustentabilidad débil, desde la perspectiva de la sustentabilidad fuerte y desde la perspectiva de una sustentabilidad ideal (lograr sustentabilidad débil y fuerte simultáneamente). En la segunda parte, los países fueron comparados con los índices de complejidad. Finalmente los tres grupos de índices fueron correlacionados para determinar si existen relaciones significativas que respalden o rechacen la propuesta presentada.

Los resultados muestran que ningún país logra ser sustentable en los índices de sustentabilidad débil y fuerte al mismo tiempo. La razón estaría en que índices de sustentabilidad débil, buscan la mejora de calidad ambiental local, evaluando los cambios que ocurren dentro de las fronteras, mientras que los índices de sustentabilidad buscan la mejora de calidad ambiental global, evaluando los cambios fuera de las fronteras del sistema.



Por otra parte los resultados muestran una relación positiva entre incremento de complejidad y la sustentabilidad débil, y una relación negativa entre incremento de complejidad y la sustentabilidad fuerte. Los países de la OCDE como Suiza, Suecia, Dinamarca figuran entre los más complejos y son más sustentables en el sentido débil, pero también menos sustentables en el sentido fuerte. Por otra parte Paraguay y Bolivia figuran entre los menos complejos y son más sustentables en el sentido fuerte, pero también menos sustentables en el sentido débil. Chile, a pesar de pertenecer a la OCDE, posee mayor similitud con Sudamérica tanto en los índices de complejidad como en los índices de sustentabilidad débil y fuerte.

Desde la perspectiva de la complejidad, la imposibilidad de armonizar ambas corrientes de sustentabilidad en un mismo país, puede entenderse viendo a los países como sistemas vivos que para sostener un bajo nivel entropía local requieren incrementar la entropía del entorno. Esta sería la razón física ya que todo aumento de complejidad está asociado a la producción de entropía del entorno. En este caso, la OCDE es más compleja y su menor entropía se refleja en su mayor eficiencia metabólica y en su mayor diversidad y conectividad de conocimiento productivo, mejorando así su desempeño en los índices de sustentabilidad débil, pero como contrapartida, este mejor desempeño local se da expensas de incrementar de la entropía del entorno, reflejado en su peor evaluación en los índices de sustentabilidad fuerte.

Finalmente se propone la teoría de sistemas como herramienta complementaria para el entendimiento de la sustentabilidad ya que permite una visión sistémica a la hora de abordar conflictos ambientales. Además se sugiere que esta perspectiva permite comprender mejor el desarrollo de los sistemas humanos y su interacción con el entorno natural. El debate sobre la sustentabilidad seguirá presente, sin embargo se espera que este trabajo sea una síntesis para facilitar la comprensión de ambas corrientes de sustentabilidad.

## 1. INCOMPATIBILIDAD ENTRE SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE

Existen dos enfoques opuestos en teoría para evaluar la sustentabilidad de un país. La sustentabilidad débil promovida por la economía ambiental, rama de la economía neoclásica y la sustentabilidad fuerte promovida por un reciente conjunto de varias teorías, destacando la escuela de la economía ecológica. Sus diferencias ha sido descrita en varios artículos (Vease Ayres, 2007; Ayres *et al.*, 2001; Alier, 1008; Ballesteros, 2008; Cabezas, 1996; Costanza, 1991; del Saz, 2008; Gowdy & Erickson, 2005; Klaassen & Opschoor, 1991; Neumayer, 2003; Munda, 1997; Venkatachalam, 2007) La economía ecológica parte de principios biofísicos que dictan el posterior el análisis económico, en cambio la economía ambiental parte de principios económicos que dictan el analisis posterior del medio ambiente. La tabla 1 muestra las principales diferencias ambas corrientes de sustentabilidad.

**Tabla 1.** Diferencias entre sustentabilidad fuerte y débil (Elaboración propia).

Dimensión	Sustentabilidad Fuerte	Sustentabilidad débil	Fuente
Escuela económica	Economía Ecológica	Economía Ambiental	<a href="#">Neumayer, 2003; del Saz 2008</a>
Capital natural crítico	Exige su mantención	No exige su mantención	<a href="#">Del Saz, 2008; Cleveland, 2003</a>
Escasez de recursos	Escasez absoluta	Escasez relativa	<a href="#">Venkatachalam, 2007</a>
Valoración capital natural	Valoración objetiva de recursos	Valoración subjetiva de recursos	<a href="#">Cleveland, 2003; Nilsen, 2010</a>
Unidades de valoración	Unidades biofísica	Unidades monetarias	<a href="#">Illge &amp; Schwarze, 2006</a>
Posición tecnológica	Escepticismo tecnológico	Optimismo tecnológico	<a href="#">Venkatachalam, 2007</a>
Curva ambiental Kuznets	En contra	A favor	<a href="#">Gitli y Hernández, 2002</a>

### 1.1 SUSTENTABILIDAD FUERTE

Esta corriente pone énfasis en la dimensión biofísica de la economía, argumentando que los sistemas económicos son subsistemas físicos de un sistema mayor y finito como es la biósfera, por lo tanto el crecimiento del subsistema económico está restringido a los límites de la biósfera (Daly, 1991a, 1991b; Costanza & Daly, 1992; Gowdy & O'Hara, 1997; Georgescu-Roegen, 1971; Latouche, 2008; Lomas, 2009; Sollner, 1997). Por esta razón el objetivo

de la sustentabilidad fuerte es mantener intacto en el tiempo un conjunto de servicios naturales llamado capital natural crítico vitales para la sobrevivencia del hombre (Ayres & Nair, 1984; Ayres *et al*, 2001; Cabezas, 1996; Costanza & Daly, 1992; Cleveland & Ruth, 1997; Gowdy & O'Hara, 1997; Gutiérrez 1996; Neumayer, 2003; Pezzey & Toman, 2002; Stern, 1997, Victor *et al*, 1995). Estos servicios se consideran críticos ya que serían imposibles de sustituir por el capital hecho por el hombre y por lo tanto ambas formas de capital serían complementarias y no sustituibles (Cabezas, 1996; Ayres & Nair, 1984; Costanza & Daly, 1992; Cleveland & Ruth, 1997; Daly, 1999 citado por Nilsen, 2010; del Saz, 2008; Gutiérrez 1996; Stern, 1997, Victor *et al.*, 1995). La asunción de capital natural crítico implica disponibilidad finita de recursos y escepticismo en la tecnología como solución a la escasez de recursos, ya que esta viene determinada por la finitud de la biósfera (Daly & Cobb, 1989; Venkatachalam, 2007). Por esto se trabaja con el concepto de escasez absoluta o malthusiana (Daly 1991a; Venkatachalam, 2007). Para una gestión planificada de los recursos finitos es necesario trabajar con métodos de valoración objetiva biofísica del capital natural en contraposición a la valoración monetaria promovida por la economía ambiental. (Martínez-Alier, 1998; Faucheux & O'Connor 1997; Martínez-Alier *et al.* 1998; Munda *et al.* 1994; Nilsen, 2010; Pearce & Turner 1990; Pearce & Atkinson, 1993; Solow, 1992). Se apuesta por una cuantificación biofísica por considerar que la cuantificación monetaria tradicional no informa el valor real de la naturaleza. Por ello la economía ecológica trabaja en la investigación de costos no incluidos en los precios de mercado para evitar infravaloración de la naturaleza (Martínez-Alier, 2005). Algunos autores proponen una teoría energética del valor para complementar o reemplazar el estándar neoclásico de utilidad marginal (Cleveland *et al.*, 1984; Costanza, 1980; Gilliland, 1975; Hall *et al*, 1992; Odum, 1983, 1996; Slesser, 1973). La ecuación 1 muestra el capital total  $K$  que dispone una sociedad, compuesto por el capital natural crítico  $K_{nc}$  y el capital hecho por el hombre  $K_h$ . Para la sustentabilidad fuerte, un bienestar no decreciente debe cumplir con la condición  $dK_{nc} / dt \geq 0$ .

$$K = K_{nc} + K_h \quad (1)$$

## 1.2. SUSTENTABILIDAD DÉBIL

No exige mantener un capital natural crítico ya que asume completa sustitución entre capital natural y el capital hecho por el hombre (Cabezas 1996; Dasgupta & Heal, 1974; del Saz, 2008; Pearce & Atkinsons, 1993; Solow, 1974ab, 1986). La asunción de completa sustitución se basa en el optimismo tecnológico para superar la escasez de recursos (Arbelaez & Alberto 2006; Lomborg, 2004, 2001; Simon, 1980, 1981). En este sentido la escasez no está determinada por el carácter finito de la biósfera, está determinada por la capacidad tecnológica y conocimiento del hombre (Burness *et al.*, 1980; Young, 1991). Esto implica trabajar con el concepto de escasez relativa o ricardiana (Barbier, 1989; Daly, 1991a) Lo que debe mantenerse constante no es un recurso natural en sí, sino el servicio que este ofrece a la sociedad (Dasgupta & Maler, 1991). Considerando estas premisas, el objetivo de la sustentabilidad débil es mantener un capital per capita no decreciente en el tiempo (Ayres & Nair, 1984; Cabezas; 1996; Costanza & Daly, 1992; del Saz, 2008; Cleveland & Ruth, 1997; Gutés 1996; Stern, 1997, Victor *et al*, 1995) La ecuación N°2 representa el capital total  $K$ , compuesto por el capital natural  $Kn$  y el capital hecho por el hombre  $Kh$ . Siempre que el capital  $K$ , independiente de su composición interna no decrezca en el tiempo, la sustentabilidad se habrá logrado (del Saz, 2008; Hartwick 1977, 1978ab, 1992; Solow, 1974a, 1986, 1993). Por lo tanto para la sustentabilidad débil, un bienestar no decreciente debe cumplir con la condición  $dK / dt \geq 0$ .

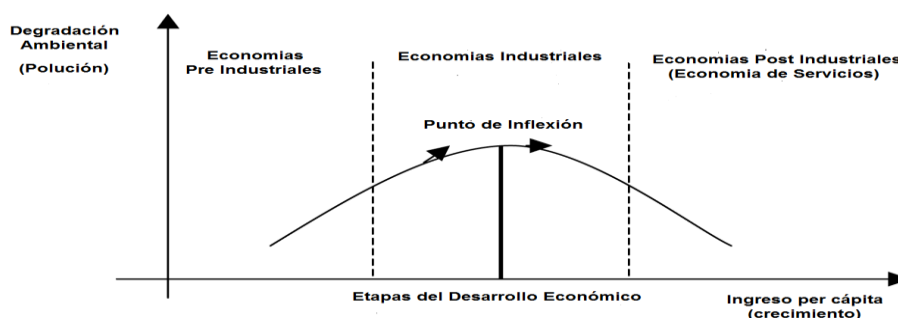
$$K = Kn + Kh \quad (2)$$

Una completa sustitución y por ende un capital per cápita  $K$  no decreciente exige que los beneficios obtenidos por la explotación del capital natural deben al menos igualar los costos sacrificados (Claveland, 2003; Hartwick, 1977; Solow, 1986). Para asegurar esta condición es vital una adecuada valoración económica de la naturaleza. Por esto la economía ambiental pone énfasis en el desarrollo de métodos de valoración monetaria del capital natural aplicando el concepto de utilidad marginal (Faucheux & O'Connor 1997; Illge & Schwarze, 2006; Martínez-Alier *et al.* 1998; Munda *et al.* 1994; Pearce & Turner 1990; Solow, 1992; Pearce & Atkinson, 1993). Una adecuada cuantificación

monetaria permite que los precios sean señales de escasez, de esta forma el agotamiento de recursos incrementa sus precios, movilizandando la creatividad humana para sustituirlos, de manera que el flujo de servicios que recibe la sociedad se mantengan (Ballesteros, 2008; Solow, 1991). Se critica a la economía ecológica por su enfoque a largo plazo y global, y su falta de aplicabilidad a conflictos concretos cotidianos de externalidades negativas como en el caso de construcción de embalses, carreteras, olores, etcétera, donde la economía ambiental logra mayor influencia en la formulación de políticas ambientales (Venkatachalam, 2007).

### 1.3. INTERPRETACIÓN CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS

Las diferencias expuestas son la base teórica para las interpretaciones opuestas de la curva ambiental de kuznets presentada en la figura 1. Esta curva promovida por la sustentabilidad débil sostiene que la contaminación aumenta con el crecimiento económico hasta cierto nivel de ingreso, o punto umbral a partir del cual la contaminación ambiental empieza a reducirse (Ekins, 1997; Grossman, 1995; Grossman & Krueger, 1995; Panayotou 1993; Shafik 1994; Seldon & Song 1994; Suri & Chapman 1998)



**Figura 1.** Etapas de la Curva Ambiental de Kuznets. (Panayotou, 1993).

Inicialmente la estructura productiva es ineficiente, intensiva en el procesamiento de recursos. La falta de bienes de capital implica mayor flujo de residuos y emisiones sobre el entorno local por unidad de riqueza económica producida (Dasgupta *et al.*, 2002; Dinda 2004). Luego la incorporación de bienes de capital y los cambios en la composición de la estructura productiva reducen las presiones sobre el entorno local hasta un punto umbral donde las

presiones empiezan a desaparecer. En esta etapa la estructura productiva se hace más eficiente transitando hacia la prestación de servicios donde el capital humano toma protagonismo. Además se incrementa las regulaciones ambientales, disminuye el procesamiento intensivo de recursos, se incrementa la demanda ciudadana por calidad ambiental y el mercado se reacomoda para satisfacer estas demandas (Baldwin, 1995; Dinda, 2004; Pezzey, 1989; Selden & Song, 1994). En esta etapa de desarrollo ocurre la llamada desmaterialización o desacoplamiento entre economía y medio ambiente. En esta etapa se nota una clara mejora de la calidad ambiental local

En contraste, la sustentabilidad fuerte afirma que la curva ambiental de kuznets y la desmaterialización no existen por que la contaminación ambiental no disminuye, sólo se traslada (Suri & Chapman, 1998 citado por Gitli y Hernández, 2002). Se argumenta que las actividades contaminantes se desplazan hacia países menos desarrollados o con menores regulaciones ambientales cuestionando la validez de la curva ambiental de kuznets. (Alier & Roca, 2000; Suri & Chapman, 1998 citado por Gitli y Hernández, 2002). El hecho de que países ricos puedan crecer mientras que sus territorios locales son explotados con menor intensidad, no se debe a un desmaterialización económica, sino al hecho de que dichos países pueden obtener servicios de los ecosistemas de todo el globo a través de los mercados globalizados (Naredo, 2005 citado por De Groot & Gómez-Baggethun, 2007). La desmaterialización de algunos países se hace posible al apoyarse sobre las fuentes de recursos (ej. petróleo) y los sumideros de residuos (ej. atmósfera) de un capital natural ubicado más allá de sus territorios (De Groot & Gómez-Baggethun, 2007).

#### 1.4. ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD

Para saber si un sistema económico sigue una senda de desarrollo sustentable es necesaria la elaboración de indicadores. Estos informan la posición del sistema en relación a objetivos político o límites biófísicos (Mayer, 2008). La información sobre el estado del sistema permite orientar la toma de decisiones hacia metas de desarrollo establecidas (Hezri & Dovers, 2006; Oras, 2005). Sin embargo el desarrollo de indicadores presenta dificultades debido a falta de

consenso respecto a la definición y metas de sustentabilidad (Parris & Kates, 2003). Este problema se debe en parte a los diferentes objetivos perseguidos por la sustentabilidad fuerte y la sustentabilidad débil (Cabezas, 1996; Clarke & Islam, 2006; Lawn, 2007; Ness *et al*, 2007; Nourry, 2008; Pillarisetti, 2005; Sutton, 2003; Zhou *et al.*, 2006).

Cuando se utilizan muchos indicadores, ellos conforman un índice. Un índice es una agregación cuantitativa de indicadores y proporciona una simplificada, coherente y multidimensional vista de un sistema (Mayer, 2008). Los índices cumplen múltiples funciones. Pueden proporcionar una alerta temprana, advirtiendo sobre efectos negativos en la dimensión económica, social y ambiental (Gasparatos *et al.*, 2008). Tienen la capacidad para traducir conocimientos de ciencias físicas y sociales en unidades manejables de información que facilitan el proceso de toma de decisiones (UN, 2001 citado por Gasparatos *et al.*, 2008). Pueden medir la distancia de un sistema respecto a metas (Mayer, 2008). Los índices por lo general dan una visión estática de un sistema, pero si se calcula periódicamente, pueden indicar si el sistema se hace más o menos sostenible (Mayer, 2008). También permite la comparación entre diferentes sistemas respecto a un mismo año o meta de referencia.

Entre las dificultades está el carácter multidimensional de los sistemas humanos, o sea que el estado del sistema en cada momento depende de la interacción de múltiples dimensiones, como la económica, social, institucional o ambiental que se retroalimentan entre sí continuamente (Cabezas *et al*, 2003; Mayer *et al*, 2004; Pezzoli, 1997). Los sistemas podrían al mismo tiempo hacerse más sostenibles en algunas dimensiones y menos sostenible en otras (Mayer, 2008) Por esto ningún índice es suficiente para comprender totalmente el estado de un sistema, siendo necesario varios índices en diferentes dimensiones para una perspectiva integral (Gasparatos, 2008; Hanley *et al*, 1999; Rees, 2002; Mayer *et al*, 2004; Esty *et al*, 2005; Wilson *et al*, 2007, citado por Mayer 2008.). Varias cuestiones metodológicas deben ser entendidas para evaluar el desempeño de un índice como: los límites del sistema, datos incluidos en el análisis, métodos de normalización y ponderación, modo de agregación y la comparabilidad de los resultados entre los sistemas (Mayer,

2008) También es importante comprender las fortalezas, debilidades, prejuicios, y dependencia de escala de los índices utilizados (Parris & Kates, 2003, Morse & Fraser, 2005; Ness *et al*, 2007, citado por Mayer, 2008).

Para los índices de sustentabilidad débil lo que debe sostenerse es el bienestar no decreciente entendido como un total de bienes de capital per cápita no decreciente (Cabezas, 1996). El bienestar se asocia a los bienes capital ya que son necesarios para mejorar otras dimensiones como la social (hospitales, escuelas, médicos, parques) y ambiental (ingenieros ambientales, tecnología verdes). La necesidad de contar con bienes de capital es independiente de las posiciones políticas, ya que todo sistema económico ya sea de planificación central o una economía de libre mercado, requieren disponer de bienes de capital para dar una buena calidad de vida y lograr buenas evaluaciones en los índices de sustentabilidad débil.

Los índices de sustentabilidad fuerte comparten la premisa de límites biofísicos para la producción de bienes de capital. Por lo tanto un incremento de bienes de capital es sustentable en cuanto no se consuma el capital natural crítico. En este sentido el bienestar no decreciente de la sociedad es entendido como el mantenimiento del capital natural crítico en el tiempo. Dentro de la sustentabilidad fuerte existen diferentes posiciones como la sustentabilidad super fuerte (Vease Davies, 2013). Un representante de la sustentabilidad super fuerte es la rama de la ecología profunda, que propone que los seres humanos no tienen derecho a pasar por encima de la diversidad de otras especies. Por lo tanto el capital natural crítico no debe considerar solo los aspectos necesarios para la sobrevivencia del hombre, sino que también debe incorporar aquellos aspectos necesarios para la vida de las demás especies. En este sentido mientras menor sea la producción de bienes de capital, menor es la presencia de conflictos internos en el espectro de la sustentabilidad fuerte. A continuación se presenta una serie de índices de sustentabilidad más conocidos y utilizados en la literatura de la sustentabilidad.



#### 1.4.1. Producto Interno Bruto per cápita ajustado por Paridad de Poder Adquisitivo (PIB per cápita PPA).

El (PIB per cápita PPA) atiende la dimensión económica del desarrollo. Antes es necesario definir el PIB tradicional. EL PIB es la medida más conocida de desempeño económico y refleja la capacidad productiva de un país (Nourry, 2008). Su unidad de medida es US\$ (dólares estadounidenses). No es un indicador de calidad de vida, tan solo indicador material. A pesar de sus críticas, el PIB es uno de los principales objetivos de los países, siendo el indicador por excelencia del desarrollo económico e implícitamente muchas veces es identificado como indicador de bienestar social. (Nourry, 2008; Van de kerk, *et al.*, 2008). Los datos para su cálculo se obtienen a partir del sistema de cuentas nacionales que cada país posee. El PIB per cápita se obtiene dividiendo el PIB total de un país por la cantidad de habitantes de dicho país. Para un incremento de PIB per cápita la tasa de crecimiento del PIB total debe ser mayor al crecimiento de la población. Wilson *et al.*, (2007) clasifican al PIB como índice de sustentabilidad débil

En términos formales el PIB es el valor total a precios de mercado de los bienes y servicios producidos dentro un país durante un año (Larraín y Sachs, 2002). Su cálculo contabiliza solo la producción realizada dentro de las fronteras del país, sin importar si fue realizada por personas o empresas nacionales o extranjeras. Un método de cálculo es sumar las demandas finales de los bienes producidos, compuesto por el consumo de las familias  $C$ , más los bienes demandados para la inversión privada  $I$ , más los bienes demandados por el gobierno para gasto público  $G$ , más los bienes exportados o sea demandados desde el exterior  $X$ , menos los bienes importados  $M$ , ya que estos no son producidos dentro las fronteras del país (Larraín y Sachs, 2002).

$$PIB = C + I + G + X - M \quad (3)$$

Una debilidad es que no incorpora los cambios en el capital natural, debido a la dificultad de valorar económicamente los bienes naturales. Con el objetivo de incorporar las variaciones del capital natural se han propuesto índices como

correcciones al PIB. Entre estos índices está el Producto Interno Neto Ecológico (PINE) o PIB verde (Nourry, 2008). Este se obtiene restando la depreciación del capital físico del PIB tradicional y luego incorporando una serie de ajustes para incluir la variación de capital natural. (Véase Hamilton, 1994 y Hanley, 2000 para una revisión de los diferentes ajustes). Sin embargo una desventaja del PIB verde es la falta de consenso entre los economistas acerca de las modificaciones y técnicas utilizadas para estos cálculos (Nourry, 2008). Otros autores proponen corregir PIB tradicional incluyendo no solo la dimensión natural, sino también las dimensiones social y política. Entre estas correcciones destacan el Índice de Bienestar Económico Sostenible (IBES) (Daly & Cobb, 1989), que posteriormente se convirtió en el Indicador de Progreso Genuino (GPI) (Cobb *et al.*, 1995).

Un problema del PIB per cápita al comparar países es que no considera las diferencias reales de poder adquisitivo. Dos países podrían tener el mismo PIB per cápita pero con grandes diferencias de poder adquisitivo. Un dólar de ingreso puede comprar distintas cantidades de bienes en distintos lugares, por lo tanto dos países con una misma renta per cápita en dólares pueden presentar calidades de vida muy dispares (Larraín y Sachs, 2002). Para comparar el nivel de vida o ingreso real se corrige el PIB por su poder adquisitivo, resultando en el PIB per cápita medido en términos de Paridad de Poder Adquisitivo (PIB per cápita PPA). Para la corrección se considera una canasta de consumo (alimentos, arriendos, vestuario, recreación, etcétera) representativa como referencia para conocer las diferencias de poder adquisitivo entre los países (Larraín y Sachs, 2002).

#### 1.4.2. ÍNDICE DE AHORRO GENUINO.

Este índice atiende la dimensión económica del desarrollo. Fue desarrollado por Pearce & Atkinson (1993). A diferencia del PIB que solo mide la riqueza producida en un año, el Índice de Ahorro Genuino mide el ahorro entendido como la provisión de recursos que aseguren un flujo continuo de bienestar. Al igual que un hogar, si un país consume todo lo que produce y no ahorra, su consumo per cápita después de un período inicial de crecimiento económico,

tenderá a cero ya que los recursos se agotarán a mayor tasa que el incremento de capital necesario para sustituirlas (Dasgupta & Heal, 1974 citado por Cleveland 2003). Por ende tasas de ahorro negativas implica insustentabilidad y pérdidas de bienestar en el largo plazo. Por el contrario, un país es sostenible si la tasa de ahorro es mayor a la tasa de depreciación combinada de capital natural y capital hecho por el hombre (Pearce & Atkinson, 1993). Por ende tasas positivas de ahorro implican sostenibilidad pues las reservas de capital total no estarían cayendo.

El Ahorro Genuino corresponde al ahorro nacional bruto (ANB), menos la depreciación del capital fijo (DCF), más inversión en capital humano (ICH), menos la depreciación de recursos naturales (DRN), menos los daño por contaminación por dióxido de carbono y material particulado (DC) (Nourry, 2008). Todos estos valores están como porcentajes de Producto Interno Neto.

$$AG = ANB - DCF + ICH - DRN - DC \quad (4)$$

Debilidades se hallan en el ambito teórico y metodológico. Por ejemplo, los recursos naturales importados, explotados en otros países no se contabilizan en el cálculo, permitiendo que países puedan figurar como sustentables solo conservando sus recursos internos sin considerar la explotación de recursos fuera de sus fronteras debido a su consumo (Atkinson & Hamilton, 2002 citado por Mayer, 2008). La disponibilidad de datos es otro problema, la información requerida puede ser muy difícil de obtener en la practica (Mayer, 2008).

#### 1.4.3. INDICE DE DESARROLLO HUMANO AJUSTADO POR DESIGUALDAD (IDH-D).

Mide la dimensión social del desarrollo. Este índice es elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Se aplica a nivel de países y a escalas regionales, según disponibilidad datos. El Índice de Desarrollo Humano ajustado por Desigualdad (IDH-D) es una extensión del IDH tradicional, que además de evaluar el grado de desarrollo humano promedio de

un país, incluye el grado de desigualdad entre los individuos pertenecientes a dicho país. En una sociedad con perfecta igualdad, el IDH tradicional y el IDH-D tienen el mismo valor. Wilson *et al.*, (2007) clasifican al IDH como un índice de sustentabilidad débil.

El cálculo del IDH tradicional consta de tres subíndices de igual peso cada uno, agregados por una media aritmética: Índice de esperanza de vida, Índice de Educación y un índice de PIB per cápita PPA (Böhringer & Jochem, 2007). EL IDH-D incluye un ajuste por desigualdad en los tres subíndices como muestra la figura 2. Los tres subíndices se normalizan en una escala entre 0 y 1,0. Un valor de 1,0 implica que un país ha alcanzado el valor máximo para cada subíndice, y un valor de cero implica que el país se encuentra por debajo del valor mínimo para todos los subíndices.

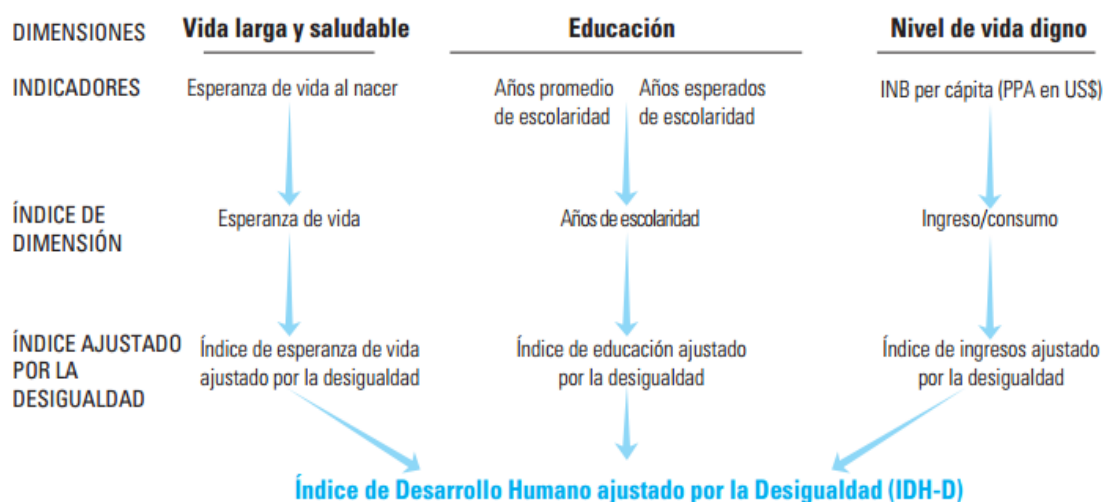


Figura 2. Composición del IDH-D (PNUD, 2010)

Entre sus ventajas destaca su simplicidad práctica para la toma de decisiones, ya que con pocas variables se obtiene un valor de referencia para conocer y medir la situación y avance respecto a metas de desarrollo humano bien definidas. Destaca también su universalidad ya que incluye aspectos importantes no solo para los países en desarrollo, sino también para los países desarrollados (Solé y Capdevila, 2009). Por otra parte se cuestiona si el IDH refleja con precisión el desarrollo humano ya que resulta difícil reducir a una cifra un concepto tan cualitativo y subjetivo (Dasgupta & Weale, 1992; Hicks,

1997; Sen, 1997 citado por Nourry, 2008) Otras debilidades se hallan en la construcción y técnicas del índice (Mac Gillivray, 1991; Srinivasan, 1994; noorbakhsh, 1998, citado por Nourry 2008).

#### 1.4.5. ÍNDICE DE DESEMPEÑO AMBIENTAL (EPI).

El Índice de Desempeño Ambiental o The Environmental Performance Index, más conocido por siglas en Ingles (EPI) atiende la dimensión ambiental y social de la sustentabilidad. Desarrollado por la Universidad de Yale en conjunto con la Universidad de Columbia. Wilson *et al.*, (2007) clasifica al EPI como un índice de sustentabilidad débil. Su escala de aplicación es solo a nivel de países. Evalúa y compara el avance de los países respecto a metas ambientales establecidas por acuerdos internacionales, normas nacionales o consensos científicos (Esty, Levy, Kim, Sherbinin, Srebotnjak, & Mara, 2008). El desempeño respecto a metas, facilita y orienta la gestión de los gobiernos en áreas temáticas claves para la sustentabilidad (Esty *et al.*, 2008).

Como resume la tabla 2, los dos grandes objetivos del EPI son: 1.- reducir las presiones ambientales sobre la salud humana (el objetivo de la salud ambiental). 2.- protección de los ecosistemas y recursos naturales (el objetivo vitalidad del ecosistema). La salud ambiental se divide en tres políticas: impacto del ambiente en la salud, agua potable y saneamiento básico. Por otra parte, la vitalidad ambiental se divide en cinco políticas: efectos de la contaminación del aire en los ecosistemas, recursos hídricos, biodiversidad y hábitat, recursos naturales (forestales, pesqueros y agrícolas) y cambio climático. Estas 8 políticas se desagregan en 25 indicadores ambientales (Esty *et al.*, 2008).

Cada objetivo principal pesa un 50% del total del EPI. Los 25 indicadores para ser comparables se normalizan en un escala de 0 a 100. El valor máximo de 100 indica cumplimiento total del objetivo evaluado por el indicador. El valor mínimo de cero indica nulo cumplimiento del objetivo evaluado por el indicador. Los pesos asignados a cada indicador provienen de mecanismos estadísticos o por consulta a expertos. (Böhringer, & Jochem, 2007).

Tabla 2. Objetivos, políticas e indicadores del EPI (obtenido de Esty *et al.*, 2008)

Objetivo	<b>Salud Ambiental</b>		
Políticas	Efecto del ambiente en enfermedades	Agua Potable y saneamiento	Calidad del aire en la salud
Indicadores	1.- Efecto del ambiente en enfermedades	2.- Saneamiento 3.- Agua Potable	4.- Suspensión partículas (urbano) 5.- Contaminación Aire en interiores 6.- Ozono local
Objetivo	<b>Vitalidad Ecosistemas</b>		
Políticas	Contaminación aire en ecosistemas	Recursos Hídricos	Biodiversidad y Hábitat
Indicadores	7.- Ozono en ecosistemas 8.- Emisiones de dióxido de Sulfuro	9.- Calidad de agua natural 10.- Demanda sobre agua disponibles	11.- Riesgo de conservación 12.- Conservación efectiva 13.- Hábitats críticos 14.- Áreas marinas protegidas
Políticas	Recursos naturales productivos	Recursos naturales productivos	Recursos naturales productivos
Subcategoría	Recursos forestales	Recursos pesqueros	Recursos agrícolas
Indicadores	15.- Reserva de arboles en crecimiento	16.- Intensidad pesca marina 17.- Practicas pesca con red	18.- Intensidad de la irrigación 19.- Subsidios agrícolas 20.- Intensidad de tierras cultivadas 21.- Intensidad de tierra quemadas 22.- Regulación uso de pesticidas
Políticas	Cambio climático (gases invernadero)		
Indicadores	23.- Emisiones per capita 24.- Emisiones/generación eléctrica 25.- Emisiones industriales de Co2		

La información para elaborar los indicadores se obtiene de organismos internacionales acreditados. Sin embargo, en muchas ocasiones, estos datos son suministrados por los propios países a estos organismos sin que hayan sido verificados con posterioridad. Por tanto, esta situación lleva a dudar de la fiabilidad de los datos en algunos casos. (Esty *et al.*, 2008)

#### 1.4.6. ÍNDICE DE SOCIEDAD SUSTENTABLE (SSI).

El índice de Sociedad Sustentable o Sustainable Society Index más conocido por sus siglas en inglés (SSI) es de los pocos índices que considera las tres dimensiones de la sustentabilidad simultáneamente. El SSI es una iniciativa privada de Geurt van de Kerk y Arthur Manuel. El índice fue presentado por

primera vez en la revista *Ecological Economics* en el 2008. Su escala de aplicación es solo a nivel de países.

Tabla 3. Categorías e indicadores de SSI (obtenido de Van de kerk & Manuel, 2008).

Categorías	I.- Desarrollo personal	II.- Bienestar Ambiental	III.- Sociedad equilibrada
Indicadores	1.- Vida Saludable	7.- Calidad de aire	10.- Gobernabilidad
	2.- Acceso a alimentos	8.- Calidad aguas superficiales	11.- Empleo
	3.- Acceso al agua potable	9.- Calidad de las tierras	12.- Crecimiento poblacional
	4.- Sanidad suficiente		13.- Distribución del ingreso
	5.- Oportunidades de educación		14.- Deuda pública
	6.- Igualdad de género		
Categorías	V.- Uso sustentable de los recursos	V- Sustentabilidad mundial	
Indicadores	15.- Reciclamiento de residuos	18.- Área forestal	
	16.- Uso de recursos hídricos renovables	19.- Preservación biodiversidad	
	17.- Consumo de energías renovables	20.- Emisiones gases invernaderos	
		21.- Huella Ecológica	
		22.- Cooperación Internacional	

El SSI se basa explícitamente en la definición del informe Brundtland integrando los aspectos más importantes de la sostenibilidad y la calidad de vida de una nación de una manera sencilla y transparente. Consta de 22 indicadores con el mismo peso, agrupados en 5 categorías: desarrollo personal, calidad ambiental, sociedad equilibrada, sustentabilidad del uso recursos naturales y contribución a la sustentabilidad mundial. (Van de kerk & Manuel 2008). La tabla 3 muestra las categorías y sus correspondientes indicadores. La puntuación de los indicadores, categorías y el índice final se están en una escala de 0 a 10. Un puntaje de 10 equivale a un 100% de sustentabilidad. Una puntaje de 0 equivale a una nula sustentabilidad. Debido a la falta de consenso para la atribución de pesos a los indicadores, cada indicador ha recibido el mismo peso para la agregación en categorías.

Una desventaja es que si bien la puntuación final entrega un panorama global del grado de sostenibilidad de un país, esta información demasiado agregada impide la elaboración de políticas públicas ya que no entrega detalle sobre los aspectos más débiles y urgentes donde focalizar los esfuerzos. Por esto debe mirarse además los comportamientos en los indicadores por separado, que

aportan más información que lo que una sola cifra agregada puede proporcionar (Van de kerck & Manuel 2008).

#### 1.4.7. HUELLA ECOLÓGICA.

La Huella Ecológica fue propuesta y desarrollada por Wackernagel & Rees (1996). Se basa explícitamente en el concepto de sustentabilidad fuerte (Ferguson, 2002; Rees, 2002 citado por Mayer 2008). Mide la cantidad total de naturaleza necesaria para producir los recursos que una población consume y para asimilar los residuos que la población produce. (Wackernagel & Rees, 1996). En otras palabras se busca que todos los impactos ambientales de la actividad humana queden expresados en términos de área de suelo ecológicamente productivo necesario para producir los recursos consumidos y para asimilar los residuos generados por una sociedad bajo la tecnología presente en un determinado año (Ewing, Moore, Goldfinger, Oursler, Reed & Wackernagel, 2010; Neumayer, 2004). La unidad de medida para cuantificar la cantidad de naturaleza demandada es hectáreas globales (gha) por año. Su escala de aplicación es a nivel de países, regiones, ciudades, personas, organizaciones, productos y servicios.

Otro valor que se calcula es la biocapacidad o capacidad de carga de un territorio, también en unidades de hectáreas globales (gha) por año. Esta corresponde a la capacidad máxima de un territorio para generar un abastecimiento regular de recursos renovables y para absorber los desechos resultantes de su consumo, sin comprometer su capacidad regenerativa. El objetivo final es que la huella ecológica de un país no supere la biocapacidad disponible localmente, de forma que exista un equilibrio entre la demanda de recursos y la capacidad de generación del territorio asociado.

Si la huella ecológica de un país está por debajo de la biocapacidad de su territorio, dicho país será autosuficiente presentando un superávit ecológico, o sea que presenta un excedente de recursos y por lo tanto dicho país es sostenible. Por el contrario, si el valor de la huella ecológica está por sobre la biocapacidad de su territorio, dicho país presenta un déficit ecológico, o sea



que consume más de lo que su biocapacidad local es capaz de ofrecer y por lo tanto no es sostenible. Esto significa se está utilizando y por ende importando huella ecológica de otros territorios.

Una sus debilidades es que no todos los aspectos de la actividad económica se pueden integrar en el índice debido a la falta de medios de conversión en unidades físicas (Neumayer, 2004; Nourry, 2008). La huella ecológica se centra exclusivamente en aquellos recursos que poseen capacidad de regeneración a escala de tiempo humana. No considera agotamiento de recursos no renovables como el petróleo, gas natural, carbón, yacimientos minerales, elementos radioactivos, etcétera. La huella ecológica solo aborda estas actividades si estas durante su extracción, refinamiento, distribución, uso o disposición imponen alguna demanda sobre la capacidad regenerativa de la biósfera. La huella ecológica de las emisiones de dióxido de carbono asume que todas las emisiones son absorbidas por los bosques. Esto deja de lado otros medios de absorción. (Ewing *et al.*, 2010). No quedan contabilizados impactos de carácter cualitativo, como son las contaminaciones del suelo, erosión, o degradación del paisaje. No contabiliza la escasez de algunos recursos, como el agua, o pérdida de biodiversidad o emisiones distintas de CO<sub>2</sub> (Wackernagel & Yount, 1998; McManus & Haughton, 2006; Dietz *et al.*, 2007; Lawn, 2007 citado por Mayer, 2008)

Entre sus fortalezas su carácter didáctico, sintético e integrador hace que sea fácilmente entendible y tiene un elevado valor como elemento de sensibilización ambiental y de reflexión sobre los límites que el medio impone a la actividad humana o al papel del comercio en la distribución global de los recursos. Estas ventajas, junto con la posibilidad de comparar de forma sencilla resultados entre diferentes territorios o momentos del tiempo, han hecho que la huella ecológica haya sido ampliamente utilizada como indicador de sostenibilidad ambiental.

#### 1.4.8. HUELLA DE CARBONO (HC).

Atiende la dimensión ambiental de la sustentabilidad. No hay un origen claro de la definición, sin embargo es probable que se desprenda del lenguaje de la huella ecológica (Wiedmann & Minx, 2008). Se define como el conjunto de emisiones de gases efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o países, expresado en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes. Su objetivo es cuantificar el aporte al calentamiento global de las actividades humanas. Una vez conocido el tamaño de la huella de carbono es posible implementar estrategias de reducción de emisiones, a través de diferentes programas, públicos o privados.

Al medir el aporte al calentamiento global, la huella de carbono no contabiliza solo el dióxido de carbono de origen fósil, sino que incluye otros gases de efecto invernadero como el metano, sulfuros, etcétera. El dióxido de carbono contribuye un 60% al efecto invernadero, el metano un 15%, óxidos de nitrógeno un 5 %, y otros gases (ozono, hidrofluorocarbonos HFCs, perfluorocarbonos PFC y derivados del azufre) y partículas contribuyen el 20% restante (Figuroa y Gomez, 2007). Estos gases son transformados en toneladas de CO<sub>2</sub>.

La huella de carbono puede ser abordada desde distintos puntos de vista, dependiendo del enfoque o alcance específico. Para cada enfoque existen diferentes protocolos o metodologías reconocidas internacionalmente. Entre estos enfoques está el enfoque corporativo, enfoque productivo o servicio, enfoque personal, enfoque de eventos, enfoque territorial, enfoques específicos por industria. Entre las metodologías de mayor uso a nivel mundial están aquellas para organizaciones como el GHG PROTOCOL; ISO 14064; ISO 14069 y aquellas para productos y servicio como el PAS: 2050:2008; PAS: 2060:2010; ISO 14067.

Entre sus desventajas está el exceso de metodologías, sin embargo estas se han ido normalizando, un ejemplo son las normas ISO 140164 y GHG PROTOCOL. Entre sus ventajas está su carácter didáctico que permite la

comparación entre países de manera clara o la comparación de un mismo país en diferentes periodos de tiempo.

#### 1.4.9. INDICE DE PLANETA FELIZ (IPF)

Evalua la dimensión social del desarrollo. El índice de Planeta Feliz es desarrollado por New Economics Foundation. Su escala de aplicación es solo a nivel de países. El objetivo del IPF es evaluar lo que realmente debería interesar: un máximo bienestar en términos de vidas prolongadas y felices con el menor consumo de recursos. En otras palabras el IPF evalua la eficiencia en la producción de vidas largas y felices por unidad de naturaleza consumida. (Abdallah, Thompson, Michaelson, Marks & Steuer, 2009) Pone el desarrollo en el contexto de los límites ambientales reales y dice lo que instintivamente se sabe, que el progreso no se trata sólo de riqueza económica. Si bien los retos que enfrentan los países ricos y aquellos con altos niveles de pobreza y privaciones pueden ser muy diferentes, el objetivo final en ambos es producir vidas felices y saludables en su población. El IPF muestra que el modelo occidental de desarrollo dominante no es sostenible y debe encontrarse otras vías de desarrollo hacia bienestar sostenible. (Abdallah, *et al.* 2009).

Para su cálculo el IPF utiliza datos mundiales sobre la esperanza de vida y Huella Ecológica su cálculo. Para la felicidad de los individuos se realizan encuestas. La encuesta utilizada pregunta sobre el estado de satisfacción de vida en una escala entre 0 y 10. El valor de 10 significa una satisfacción plena de vida y el valor de 0 una satisfacción nula.

$$IPF = VidaFeliz / HuellaEcológica \quad (5)$$

Entre sus ventajas está la simpleza y claridad de su objetivo. Entre sus debilidades se halla la metodología, en particular la encuesta para medir la felicidad de los individuos.

## 2. COMPLEJIDAD Y PATRONES EN SISTEMAS ECONÓMICOS

Los sistemas sociales modernos desde la perspectiva de la complejidad son una red dinámica de mucho agentes actuando en paralelo, reaccionando al comportamiento de los demás agentes, lo que a su vez influye en el comportamiento de la red como un todo (Holland, 1988). El control tiende a ser disperso y descentralizado. Los agentes son ignorantes del comportamiento del sistema en su conjunto, respondiendo sólo a información disponible localmente, sin embargo surgen patrones y regularidades a macroescala como resultado de las interacciones a microescala (Cowan, Pines, & Meltzer, 1994; Holland, 1995, citado por Eidelson, 1997). El resultado de las interacciones entre los agentes es la formación de redes jerárquicas (Eidelson 1997)

Desde otra perspectiva los sistemas económicos se componen de una heterogeneidad de agentes o bloques básicos: personas, familias, villas, industrias y economías nacionales que van formando agregados jerárquicos (Matutinovic, 2002). Muchos agentes de baja influencia en el nivel inferior y pocos agentes de gran influencia en los niveles superiores. La distribución de las ciudades no es azarosa, sino que se distribuyen obedeciendo la ley de Zipf. (Krugman, 1996; Batty, 2008). No sólo las ciudades se disponen en jerarquías, sino que cada ciudad en si y sus zonas de influencia están a su vez dispuestas en jerarquías espaciales (Huang, Kao & Lee, 2007). Esto se conoce como invariabilidad de escala. La ley de Zipf es considerada una de las leyes de escala en la naturaleza y la sociedad (Bettencourt *et al*, 2007, citado por Chen, 2012). Básicamente dice que la probabilidad de ocurrencia de un evento es inversamente proporcional a su magnitud. Otros patrones que obedecen la ley de escala es la distribución de tamaño de las empresas (Steindl, 1965; Ijiri & Simon, 1977; Amaral *et al*, 1997 citado por Bettencourt, 2007), la distribución de redes de carreteras (Lammer, Gehlsen & Helbing, 2006; Samaniego & Moses, 2008), la distribución del consumo eléctrico (Horta-Bernús, *et al.*, 2010 citado por Watanabe *et al.*, 2013), patentes de innovación y salarios reales (Bettencourt, *et al.*, 2007 citado por Zhang & Yu, 2010).

Otra perspectiva la dan Hausmann & Hidalgo *et al*, (2008) que proponen que el incremento de complejidad en sistemas económicos se relaciona con el aumento de la cantidad, diversidad y conectividad de conocimiento productivo en su interior. Una mayor complejidad queda reflejada en una matriz de productos exportados de mayor diversidad y sofisticación (Hausmann & Hidalgo *et al*, 2008). Ruth (1995) agrega que del mismo modo que la complejidad de un ecosistema puede medirse en términos de la acumulación de material genético, expresado por la diversidad de especies, la complejidad de las sociedades puede medirse en términos de acumulación de información en los cerebros de la población, bibliotecas, universidades, softwares, bases de datos, etcétera. El objetivo último de ambos tipos de sistemas es la producción de información.

Desde una perspectiva energética los sistemas económicos son sistemas abiertos sujetos a las leyes de la termodinámica. En este sentido los sistemas económicos son sistemas abiertos que tienden hacia estados de baja entropía dentro de las fronteras, a expensas de incrementar la entropía del entorno (Binswanger, 1993; Proops, 1983; Witt, 1997, citado por Buenstorf, 2000). Todo aumento de complejidad está asociado a la producción de entropía o disipación de energía libre del entorno (Kay, 1984). Jogersen (2000) agrega que los sistemas económicos utilizan la exergía capturada para alejarse del equilibrio termodinámico, manteniendo un estado de alta exergía en relación con su entorno.

Una razón para una distribución jerárquica la da Odum (1996) proponiendo que los sistemas económicos se organizan en base a jerarquías energéticas debido a que tal diseño permite maximizar la acumulación de energía útil. En este sentido los sistemas económicos a medida que crecen y desarrollan, aumentan su disipación total desarrollando estructuras más especializadas con mayor diversidad y niveles jerárquicos que contribuyen a la degradación energética (Raine *et al.*, 2006). El conocimiento permite a los sistemas económicos ampliar su complejidad y en consecuencia, su potencial disipativo (Miller, 1999; Potts, 2003, citado por Raine *et al.*, 2006). El efecto neto de la complejidad es

un aumento del orden dentro de los límites del sistema y una disminución del orden en el entorno (Ruth, 1995)

Otros autores describen los sistemas económicos como "estructuras disipativas" que se mantienen a sí mismos lejos del equilibrio termodinámico mediante la importación de energía libre (véase Prigogine, 1978; Brooks & Wiley, 1986, Allen, 1998; Ayres, 1998 citado por Foster, 2011; Foster, 1997; Wirr, 1997 citado por Raine *et al.*, 2006; Pulselli *et al.*, 2006).

Para mantener la funcionalidad de sus estructuras internas, los sistemas económicos deben continuamente expulsar energía y materia de alta entropía e incorporar materia y energía de baja entropía. Si se deja de intercambiar energía y materia a través de sus fronteras, tenderá a la homogeneización interna, a consumir los gradientes remanentes hasta equilibrarse con el entorno al no disponer de entradas de exergía que permitan reponer la depreciación natural de sus estructuras como edificios, carreteras, equipos tecnológicos, alimentos, servicios humanos, etcétera. (Pulselli, *et al.*, 2006). Jorgensen *et al.*, (1999) agrega que si estos sistemas se aislaran sin una fuente externa de energía de baja entropía y sin un receptor externo para la energía de alta entropía, se dirigirían al equilibrio termodinámico aumentando la entropía interna, resultando en una pérdida de organización ó incremento de la aleatoriedad de sus componentes y microestados.

## 2.1. PATRONES ENERGÉTICOS EN SISTEMAS ECONÓMICOS.

Odum (1996) desde la energética de sistemas propone dos principios que dirigen el desarrollo de los sistemas económicos: el principio de jerarquías energéticas y el principio de maximización de la potencia emergética. En simples palabras los sistemas se organizan jerárquicamente para maximizar la convergencia de energía hacia el sistema (potencia emergética). Para comparar diferentes sistemas Odum (1996) propone el concepto de transformidad como vara de medida. La transformidad es la cantidad de energía útil solar necesaria para producir una unidad de masa o energía de

algún sistema. Los sistemas de mayor transformidad se ubican en niveles más altos de la jerarquía energética.

Por ejemplo la figura 3 desagrega la jerarquía espacial de una región, mostrando como el flujo de energía decrece hacia lo centros mientras que la transformidad se incrementa. La energía y materia que llega a los centros es solo una fracción de la inicial, ya que gran parte se disipa en forma de calor y residuos debido a la segunda ley de la termodinámica. Sin embargo la energía y materia que avanza a los centros es de mayor calidad o mayor transformidad ya que se ha requerido mayor energía solar indirecta para su generación. La energía útil solar que inicialmente estaba diluida en muchas unidades de energía y extensos territorios, se va concentrando cada vez en menos energía y en menor territorio. Como muestra la figura, lo que se concentra es la emergía, no la energía.

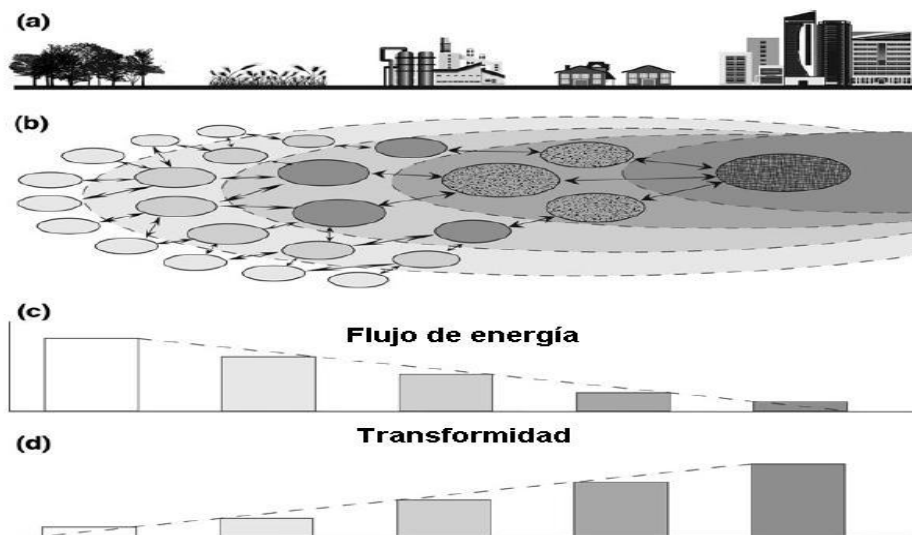


Figura 3. Distribución territorial de flujo de energía y transformidad (Lee *et al*, 2013).

Como muestra la figura 3, las zonas centrales se caracterizan por la convergencia de flujos de energía incrementando su densidad territorial emergética (Odum, 1996; 2007). En la periferia los sistemas rurales recogen flujos de energía de baja transformidad desde la naturaleza y las transforman en energía de alta transformidad hacia las ciudades. En este sentido los sistemas naturales, rurales, urbanos y financieros pertenecen a diferentes niveles de la jerarquía energética por que transforman energía de diferente calidad. En los centros se procesa energía de alta calidad (centros de

conocimiento y financieros). A escalas nacionales las ciudades representan los centros de mayor densidad emergética en relación a los sistemas naturales y sistemas agrícolas. Otros patrones son presentados en la figura 4. En las periferias el número de agentes es mayor, pero su grado de influencia es menor.

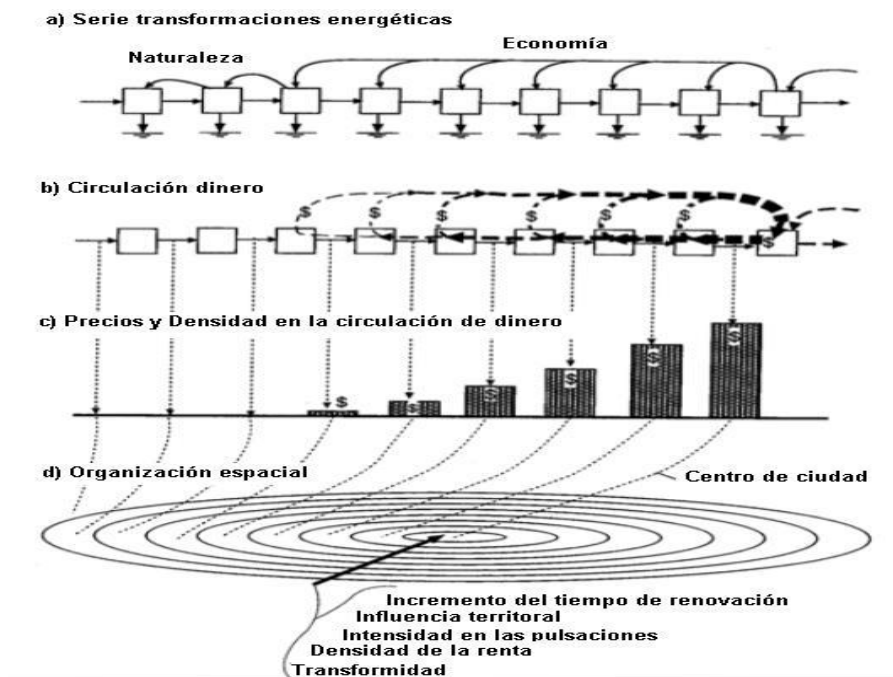


Figura 4. Patrones energéticos en sistemas económicos (Odum, 2001)

Odum (2001) propone que el principio de jerarquía energética permite explicar la ley de Zipf donde el número de ciudades es inversamente proporcional a su tamaño como se mencionó anteriormente. Además propone que la jerarquía energética dirige la circulación de dinero. Los flujos de dinero están acoplados a los flujos de energía pero van en sentido contrario. A medida que se avanza en la jerarquía la densidad de circulación de dinero crece a mayor tasa que la densidad de la circulación de energía, reflejándose en el aumento de precios hacia los centros (\$ por unidad de energía) (Odum, 2001). De manera inversa refleja mayor eficiencia y por ende la energía específica (energía por unidad de \$) decrece hacia los centros otorgando ventaja a los niveles superiores respecto a la periferia en los intercambios económicos haciendo que el flujo de energía fluya hacia los centros (vease intercambios de flujos de energía entre países desarrollados y países no desarrollados en Jiang, *et al.*, (2008)



## 2.2. INDICES DE COMPLEJIDAD

Odum (1996; 2007) propone una serie de índices para medir los patrones de complejidad.. A continuación se presentan tres índices que atiende tres aspectos diferentes: Densidad emergética (mide acumulación), Intensidad emergética por unidad de dólar (mide eficiencia) y complejidad de exportaciones (mide diversidad y conectividad de las partes constituyentes).

### 2.2.1. DENSIDAD EMERGÉTICA (ACUMULACIÓN)

Una manera indirecta de medir el grado de desarrollo es según su capacidad para atraer y concentrar flujos de emergía (Odum 1996). Una mayor densidad emergética es reflejo de una mayor organización y especialización de sus estructuras internas y mayores niveles jerárquicos. En sistemas ecológicos los ecosistemas maduros (bosques antiguos) poseen mayor densidad emergética (Odum 2007). En Odum (1969) se agrega que en las etapas maduras la entropía interna es menor y la información mayor. Jorgensen *et al.*, (2000) muestra como los ecosistemas más maduros poseen mayor concentración de exergía por unidad de área. Esta exergía corresponde a un aumento en la biomasa total y también a un aumento de la información mediante el incremento en la diversidad de especies y sus conexiones (Marques *et al.*, 1997). Jorgensen (2000) propone que tanto los sistemas ecológicos y económicos acumulan exergía mediante dos etapas de crecimiento, uno cuantitativo aumentando del número y tamaño de partes y luego uno cualitativo aumento de diversidad, redes, niveles, conexiones e información, este cambio de estrategia permite optimizar la acumulación de exergía. En sistemas humanos los sistemas más maduros son las grandes ciudades que poseen mayor densidad emergética respecto a las periferias o respecto a si mismo en periodos anteriores (Vease Huang, 1998; Ming *et al.*, 2010)

## 2.2.2. RELACIÓN EMERGÍA / DINERO (EFICIENCIA)

La complejidad puede medirse según la eficiencia metabólica en la transformación de recursos. Los sistemas tienden a minimizar la producción de entropía (que refleja el costo de mantenimiento) por unidad de biomasa (estructura) (Fath *et al*, 2004). La eficiencia metabólica en sistemas biológicos se refleja en la disminución de las pulsaciones, por ejemplo la reducción de la relación respiración/biomasa o frecuencia cardiaca/biomasa obedeciendo la ley de Kleiber (Brown, 2000; Kleiber 1932; West & Brown, 2005 citado por Zhang & Yu, 2010). Autores como Isalgue, Coch & Serra (2007) proponen que el escalamiento alométrico de la ley de Kleiber es extensible a los asentamientos humano como muestra la figura 5. En sistemas económicos Odum (1996) propone que la eficiencia metabólica se refleja en la minimización de la emergía consumida por unidad de dólar producido, reflejando mayor diversidad, niveles jerarquicos e conectividad al interior del sistema económico. En sistemas humanos los sistemas más maduros son las grandes ciudades que poseen menor consumo de emergía por unidad de dolar respecto a las periferias o respecto a si mismo en periodos anteriores (Vease Huang, 1998; Liu *et al*, 2009; Yang *et al.*, 2010).

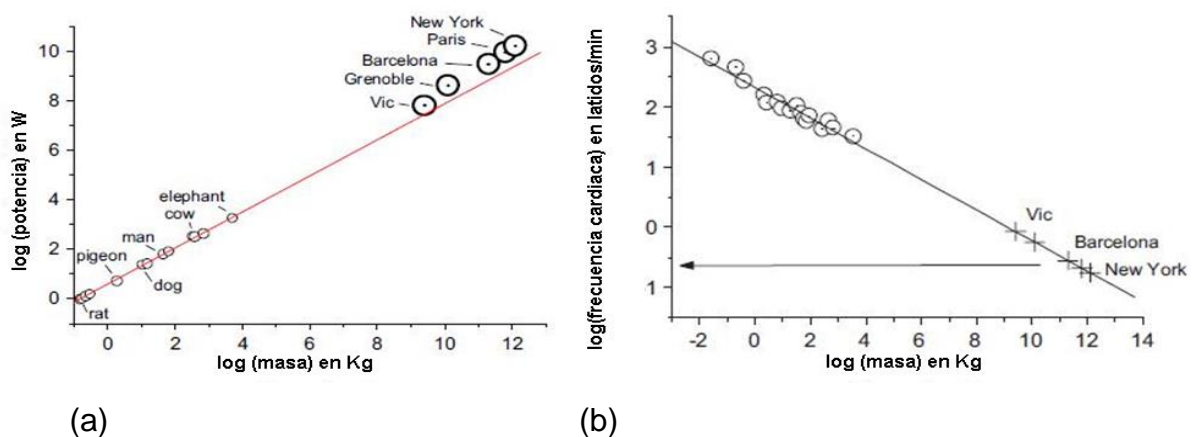


Figura 5. Relación tasa metabólica y masa en ciudades. (a) Incremento relación entre tasa metabólica y masa en escala logaritmica. (b) decrecimiento de la relación entre pulsaciones por minuto y masa en escala logaritmica (reflejo de eficiencia). (Isalgue, Coch & Serra, 2007).

### 2.2.3. INDICE COMPLEJIDAD EXPORTACIONES (DIVERSIDAD)

Desarrollado por Hausmann & Hidalgo (2008). Un país más complejo posee mayor cantidad, diversidad y conectividad del conocimiento productivo imbuído en él. El conocimiento es productivo solo si está inmerso en redes de personas. Los productos más sofisticados requieren muchas personas con conocimiento diferentes como muestra la figura 6. Cada persona especializada representa como unidad de conocimiento con el nombre de personbytes Hausmann & Hidalgo (2008).

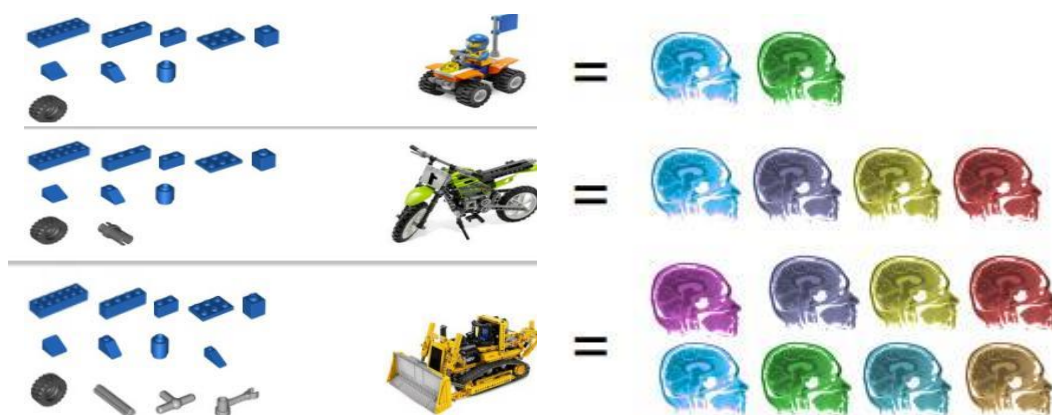
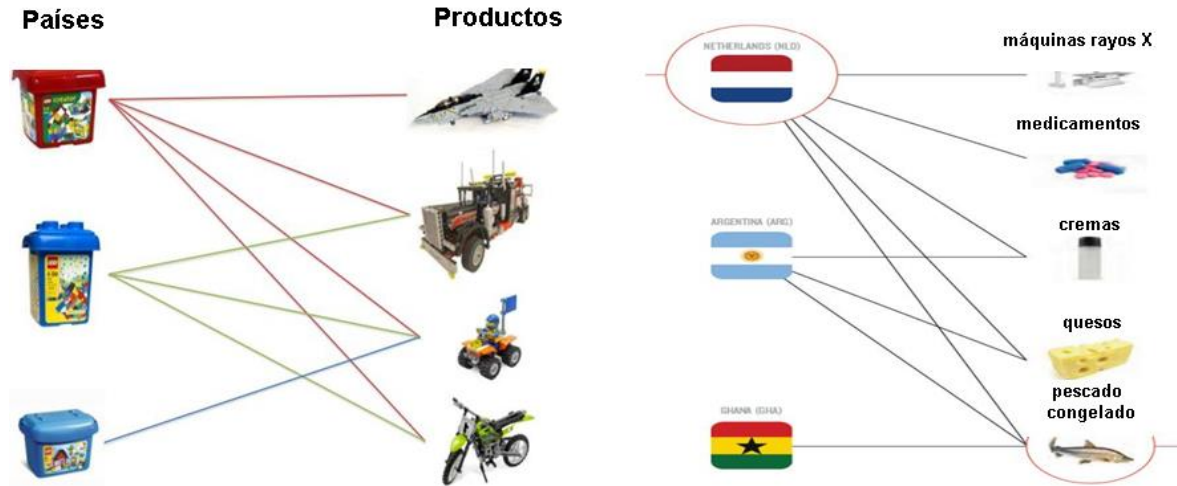


Figura 6. Relación entre personbytes y capacidad de producción. Productos más sofisticados requieren más personbytes (Modificado de [http://www.world-exchanges.org/files/file/MIT%202011/HidalgoCA\\_WFE\\_MIT\\_2011.pdf](http://www.world-exchanges.org/files/file/MIT%202011/HidalgoCA_WFE_MIT_2011.pdf))

Hausmann & Hidalgo (2008) hacen la analogía con cubetas de legos como muestra la figura 6. Cada pieza de lego representa un personbytes. La mejor cubeta posee gran número y diversidad de piezas lego capaces de conectarse entre si, permitiendole crear mayor diversidad de juguetes, pero además puede crear juguetes que ninguna otra cubeta es capaz por no contar con las piezas requeridas. Del mismo modo una sociedad más compleja posee más capacidades o personbyte. Los productos más sofisticados requieren más personbytes. Sociedades complejas además de producir mayor diversidad de productos, puede producir productos más sofisticados que otros países no pueden por carecer de las capacidades o personbytes necesarias.

Considerando la totalidad de productos intercambiados a nivel global, la complejidad se mide por el metodo de reflexión como muestra la figura 7.



**Figura 7.** Analogía entre cubetas de legos y países respecto a la capacidad de producción. La complejidad exige dos condiciones: a) estar conectado a mayor número de productos y b) que los productos a lo que se haya conectado, a la vez deben estar conectados a menor número de países (Hausmann & Hidalgo 2008).

Si un país está conectado a mayor número de productos y si a la vez esos productos están conectados a pocos países, la complejidad del país es mayor (Hausmann & Hidalgo, 2008). El grado de complejidad de una economía se vuelve también una medida de su resiliencia. Economías más complejas tienen un universo de habilidades mayores y por ende mayor capacidad para readaptarse ante cambios imprevistos en la demanda por sus productos mediante la recombinação de sus personbytes.

### **3. PROBLEMA**

En las últimas décadas el concepto de Desarrollo Sustentable ha tomado gran protagonismo en la sociedad. La creciente demanda de la ciudadanía ha hecho que este concepto se incorpore en las agendas políticas de gobiernos y organismo internacionales, programas de estudios, estrategias de competitividad del mercado, etecétera, con el propósito de armonizar el crecimiento económico y el medio ambiente para no comprometer el desarrollo de las futuras generaciones.

En primera instancia, parece no existir conflicto, todos los actores concuerda que la condición para un bienestar no decreciente en el tiempo es la preservación de una naturaleza sana como base y garantía de una economía sana. Sin embargo el conflicto se inicia al definir las condiciones específicas para dicho bienestar.

Las diversas posturas convergen en dos corrientes de sustentabilidad opuestas teóricamente: La sustentabilidad fuerte promovida por la economía ecológica y la sustentabilidad débil promovida por la economía ambiental. Ambas parten de supuestos excluyentes como la aceptación/negación de un capital natural crítico, la escasez absoluta/relativa de los recursos naturales, la valoración objetiva/subjetiva de los recursos naturales, escepticismo/optimismo tecnológico, diferencias que dictan todo el análisis posterior generando una doble lectura de los problemas actuales y por lo tanto ofreciendo diferentes soluciones, lo que dificulta un acuerdo común sobre la sustentabilidad.

Ambas corrientes han desarrollado índices para evaluar el grado de desarrollo de los países respecto a los objetivos de sustentabilidad que cada una adopta. De esto se infiere que una aplicación simultánea de índices de sustentabilidad fuerte y débil sobre un mismo sistema económico entregaría información contradictoria sobre el estado de sustentabilidad de un país, lo que impediría otorgar la categoría de sustentable a un país, al menos que se asuma previamente uno de ambas corrientes. Otra perspectiva para medir el desarrollo de un país es según su grado de complejidad. Para medir la

complejidad existen índices de complejidad. Estos pueden evaluar el incremento de complejidad atendiendo determinados patrones que surgen al interior del país o atendiendo los efectos sobre el entorno.

A partir de esto se sugiere que puede existir relación entre incremento de complejidad con los índices de sustentabilidad débil y fuerte. Se propone que la sustentabilidad débil y fuerte son manifestaciones del incremento de complejidad, pero que captan diferentes efectos de este incremento de complejidad. Se espera una relación positiva entre los índices de sustentabilidad e índices de complejidad y una relación negativa entre los índices de sustentabilidad fuerte e índices de complejidad. En relación a los países, se espera que los países más complejos tengan una relación inversa más intensa entre sus índices de sustentabilidad débil y fuerte.

Para desarrollar esta propuesta se tomó como caso de estudio un grupo de países compuesto por Chile, países de la OCDE y Sudamérica, que fueron evaluados en índices de sustentabilidad débil, fuerte y de complejidad que posteriormente fueron correlacionados estadísticamente para conocer si se cumple la hipótesis propuesta.

***Hipótesis:***

Se espera una relación positiva entre la sustentabilidad débil e índices de complejidad y una relación negativa entre los índices de sustentabilidad fuerte e índices de complejidad. En relación a los países, se espera que aquellos países más complejos sean más sustentables en el sentido débil y menos sustentable en el sentido fuerte.

### 3.1. OBJETIVOS

#### 3.1.1. Objetivo General

Determinar si existen relaciones significativas entre índices de complejidad, índices de sustentabilidad débil e índices sustentabilidad fuerte que apoyen o rechacen la hipótesis presentada. Para desarrollar ésta propuesta un grupo de países fueron evaluados con los tres grupos de índices.

#### 3.1.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar un grupo de índices de Sustentabilidad Débil, índices de sustentabilidad Fuerte e índices de complejidad.
- Aplicar los índices de sustentabilidad débil y fuerte para evaluar la sustentabilidad de Chile, Sudamérica y la OCDE.
- Aplicar los índices de complejidad para evaluar la complejidad de Chile, Sudamérica y la OCDE.
- Correlacionar los tres grupos de índices para determinar si existen relaciones significativas que apoyen o rechacen la hipótesis propuesta.

## **4. METODOLOGÍA**



#### **4.1. SELECCIÓN ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE E INDICES DE COMPLEJIDAD.**

##### **4.1.1. SELECCIÓN INDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE.**

La selección de índices se realizó mediante una revisión bibliográfica del año 2008 donde publican diversos reportes de índices de desarrollo sustentable. Se seleccionó 4 índices de Sustentabilidad Fuerte (desde ahora ISF) y 4 índices de Sustentabilidad Débil (desde ahora ISD). Para la selección de estos índices se utilizó como criterio la confiabilidad de la fuente y la cobertura en las tres dimensiones del Desarrollo Sustentable (dimensión ambiental, económica y social). Se incluyó una matriz que describe las principales características de los 8 índices seleccionados.

##### **4.1.2. SELECCIÓN INDICES DE COMPLEJIDAD.**

Se seleccionaron 3 índices de complejidad inspirados en la teoría energética de sistemas de Odum (1996). Odum (1996) propone una serie de patrones que se presentan a medida que aumenta la complejidad de un país, y que pueden ser medidos cuantitativamente. Por no existir datos energéticos para países en el año 2008, este trabajo propone 3 índices que replicaron 3 patrones de complejidad de Odum (1996): Huella ecológica específica por unidad de US\$. (eficiencia) Densidad territorial de Huella Ecológica (acumulación) y acumulación de conocimiento productivo (conectividad de las partes). La propuesta de estos 3 índices incluyó la debida justificación sobre como son capaces de capturar los patrones de complejidad propuestos Odum (1996).

## 4.2. APLICACIÓN ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE PARA EVALUAR LA SUSTENTABILIDAD DE CHILE, SUDAMÉRICA Y LA OCDE.

La comparación en los índices de sustentabilidad fue realizada en tres partes: 1.- evaluación bajo el criterio de la sustentabilidad débil (perspectiva económica). 2.-evaluación bajo el criterio de la sustentabilidad fuerte (perspectiva ecológica). 3.- evaluación bajo un criterio de sustentabilidad ideal (lograr la sustentabilidad débil y fuerte de forma simultánea)

### 4.2.1. SELECCIÓN PAÍSES

Los países seleccionados fueron Chile de manera independiente, los 9 países de Sudamérica y los 9 países más competitivos de la OCDE. Se seleccionó los más competitivos de la OCDE ya que estos son lo más estables en el largo plazo según el Índice de Competitividad Global. Para comparar Chile se eligió los grupos de Sudamérica y la OCDE ya que Chile se hayaría en un proceso de transición entre ambas realidades económicas, sociales y ambientales, compartiendo características con ambos grupos. Los países de Sudamérica según la Tabla 4 se ubican una transición desde el estado 2 a estado 3. Los países de la OCDE se ubican en el estado 3, evidenciado sus diferentes etapas de desarrollo.

**Tabla 4.** Estado de desarrollo países según renta per cápita. Fuente: Reporte Competitividad Global 2007/2008.

Estado de Desarrollo	PIB per cápita (en US\$)
Estado 1: Impulso a los factores	< 2'000
Transición de estado 1 a estado 2	2'000 - 3'000
Estado 2: Impulsos hacia la eficiencia	3'000 - 9'000
Transición de estado 2 a estado 3	9'000 - 17'000
Estado 3: Impulsos a la innovación	> 17'000

#### 4.2.2. PREPARACIÓN MATRIZ DE DATOS PARA LA EVALUACIÓN.

Se realizaron 3 matrices de datos para la evaluación.

La primera matriz ordena los países y sus puntajes en los 8 índices de sustentabilidad en las escalas y unidades originales de cada índice.

La segunda matriz ordena los países y sus puntajes en los 8 índices, pero con las escalas originales estandarizadas entre 0 y 10 para permitir comparación entre índices. En la escala estandariza el valor de 10 representa una “sustentabilidad máxima” y el valor de 0 representa una “sustentabilidad mínima” para cada índice. Una obtención de “sustentabilidad máxima” en los 4 índices de sustentabilidad débil (ISD) equivale a lograr un estado de “sustentabilidad óptima” en el sentido débil. Este estado de “sustentabilidad óptima” sirve como referencia para conocer la distancia de los países respecto al ideal de sustentabilidad débil. El mismo procedimiento se aplica para los 4 índices de sustentabilidad fuerte (ISF)

La tercera matriz muestra los valores máximos y mínimos en la escala originales de cada índice que representan los valores de 0 y 10 de la escala estandarizada.

#### 4.2.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN BAJO CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL (ECONOMÍA AMBIENTAL).

La evaluación bajo el criterio de sustentabilidad débil se presenta de cuatro formas:

##### 4.2.3.1. GRÁFICA TRADICIONAL EN BARRAS (4 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE).

Los países fueron comparados en cada uno de los 4 ISD en las escalas y unidades originales utilizando gráficas de barras realizadas en software estadístico tradicional. En esta gráfica los países se ordenaron de menor a mayor puntaje permitiendo conocer la posición relativa de Chile respecto al resto.

##### 4.2.3.2. GRÁFICA CAJA Y BIGOTE (4 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE).

Se comparó la sustentabilidad media de Chile con la sustentabilidad media de Sudamérica y la media de la OCDE en cada uno de los 4 ISD en las escalas estandarizadas utilizando gráficas de caja y bigote realizadas en software estadístico tradicional. Para conocer si existen diferencias significativas entre Chile, la media Sudamérica y la media de la OCDE, primero se realizó la prueba de Shapiro Wilk para conocer si existe distribución normal en los grupos de Sudamérica y la OCDE. En caso de distribución normal se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas. En caso de existir diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey – Kramer para conocer entre que grupos están las diferencias significativas. En los casos donde no se presentó distribución normal, la existencia de diferencias significativas fue conocida aplicando la prueba Kruskal Wallis.

#### 4.2.3.3. GRÁFICA CAJA BIGOTE (4 INDICES SIMULTANEAMENTE).

Se comparó la sustentabilidad de Chile (sumatoria entre sus 4 ISD) con la sustentabilidad del grupo de Sudamérica (sumatoria entre sus 4 ISD) y la sustentabilidad del grupo de la OCDE (sumatoria entre sus 4 ISD) utilizando gráfica de caja y bigote realizados en software estadístico tradicional. Para conocer si existen diferencias significativas entre la sustentabilidad de Chile, la sustentabilidad de Sudamérica y la sustentabilidad de la OCDE, primero se realizó la prueba de Shapiro Wilk para conocer si existe distribución normal en los grupos de Sudamérica y la OCDE. En caso de distribución normal se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas. En caso de existir diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey – Kramer para conocer entre que grupos están las diferencias significativas. En los casos donde no se presentó distribución normal, la existencia de diferencias significativas fue conocida aplicando la prueba Kruskal Wallis.

#### 4.2.3.4. GRÁFICA SIMILITUD MÉTODO BRAY CURTIS (4 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE).

En la tercera parte Chile, Sudamérica y la OCDE fueron analizados mediante el análisis de similitud Bray Curtis. Este método permite descubrir el grado de similitud ó asociación entre países que no son evidentes a priori, aportando valiosa información una vez que se han encontrado. Para este análisis se utilizó la matriz de datos estandarizada y se aplicó el método Bray Curtis como medida de distancia y como método de agrupación se utilizó promedio de grupos. Como resultado de este análisis se obtuvo un dendograma de similitud y una gráfica espacial donde los países se distribuyen y agrupan espacialmente según los grados de similitud. Se añadió el clúster llamado “sustentabilidad óptima” como punto de referencia para conocer la distancia de cada país respecto al ideal de sustentabilidad débil en este trabajo (puntaje de 10 en los 4 ISD)

#### 4.2.4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN BAJO CRITERIO DE SUSTENTABILIDAD FUERTE

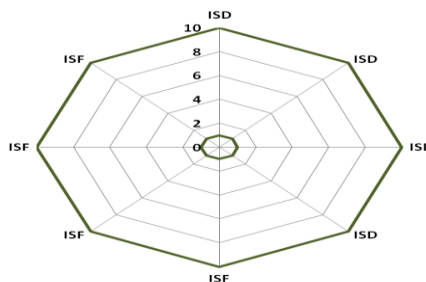
Se repiten las cuatro gráficas de evaluación en índices de sustentabilidad débil pero esta vez utilizando los índices de sustentabilidad fuerte.

#### 4.2.5. MÉTODOS DE EVALUACIÓN BAJO CRITERIO DE “SUSTENTABILIDAD IDEAL”.

La evaluación se realizó de tres formas, en las tres formas de evaluación se consideraron los 8 índices simultáneamente, no cada índice individualmente.

##### 4.2.5.1. GRÁFICAS RADIALES (8 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE).

Chile fue comparado con cada país de Sudamérica y la OCDE en gráficas radiales. Esta gráfica permite evaluar simultáneamente los 8 índices de sustentabilidad, permitiendo contrastar los puntos débiles y fuertes de Chile respecto a cada país. El centro de la gráfica indica la “sustentabilidad nula” y cada esquina indica la “sustentabilidad óptima” de cada índice. Cubrir el área total de la gráfica equivale a la hipotética “sustentabilidad ideal” o sea la obtención de una puntuación de 10 en los 8 índices. De esta forma, los países más próximos a completar el área total serían los más cercanos a la “sustentabilidad ideal”. Se realizó 19 graficas, 18 comparando Chile con cada país individualmente y una gráfica adicional comparando Chile con las medias de Sudamérica y OCDE. En la grafica radial los 4 ISF se ubicaron al lado izquierdo y los 4 ISD al derecho como muestra la figura 8. Esto permite conocer en que grado la sustentabilidad débil y fuerte se presenta en cada país.



**Figura 8.** Representación grafica radial

#### 4.2.5.2. GRÁFICA SIMILITUD MÉTODO BRAY CURTIS (8 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

Como complemento los países fueron comparados mediante el análisis de similitud Bray Curtis. Esta vez la similitud ó asociación entre países fue considerando los 8 índices simultáneamente. Se añadió un clúster llamado “sustentabilidad ideal” como punto de referencia para conocer la distancia de cada país respecto a dicha sustentabilidad ideal (puntaje de 10 en los 8 índices). Esta “sustentabilidad ideal” equivale al área total de la gráfica radial presentada anteriormente.

#### 4.2.5.2. GRÁFICA COMPONENTES PRINCIPALES (8 ÍNDICES SIMUTANEAMENTE).

Finalmente los países fueron comparados bajo el Análisis de Componentes Principales. Este análisis permite la sintetizar la información existente, en este caso reducir el número de variables (8 índices) a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Un aspecto clave es la interpretación de los componentes obtenidos ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los nuevos componentes con las variables iniciales poniendo atención tanto en el signo como en la magnitud de las correlaciones. Este análisis fue añadido para captar nueva información que no se halla de modo explícito en los 8 índices de sustentabilidad.

### **4.3. APLICACIÓN ÍNDICES DE COMPLEJIDAD PARA EVALUAR CHILE, SUDAMÉRICA Y LA OCDE.**

La evaluación en los 3 índices de complejidad se hizo mediante dos gráficas complementarias: Gráfica de barras tradicional y gráfica de caja y bigote.

#### **4.3.1. PREPARACIÓN MATRIZ DE DATOS PARA EVALUACIÓN.**

Se realizó una matriz de datos que contiene los 19 países y sus valores en los 3 índices de complejidad propuestos en las escalas y unidades originales.

Se añade una matriz que justifica la selección de los 3 índices propuestos por este trabajo, explicando como estos tres índices son capaces de captar los patrones energéticos descritos por Odum (1996).

#### **4.3.2. GRÁFICA TRADICIONALES DE BARRA (3 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE).**

En la primera parte, los países fueron comparados en cada uno de los 3 índices de complejidad en las escalas y unidades originales mediante gráficas de barras realizadas en software estadístico tradicional. Los países fueron ordenados de menor a mayor lo que permite conocer la posición relativa de Chile respecto al resto de países.

#### **4.3.3. GRÁFICA DE CAJA Y BIGOTE (3 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE).**

De forma complementaria, Chile fue comparado con la media de Sudamérica y la media de la OCDE en cada uno de los 3 índices de complejidad, utilizando gráficas de caja y bigote realizadas en software estadístico, lo que permite conocer la posición de Chile respecto a ambos grupos. Para conocer si existen diferencias significativas entre Chile, la media Sudamérica y la media de la OCDE, se realizó la prueba de Shapiro Wilk para conocer si existe distribución normal en los grupos de Sudamérica y la OCDE. En caso de distribución normal se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar



si existen diferencias significativas. En caso de existir diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey – Kramer para conocer entre que grupos están las diferencias significativas. En los casos donde no se presentó distribución normal, la existencia de diferencias significativas fue conocida aplicando la prueba Kruskal Wallis.

#### **4.4. CORRELACIONAR TRES GRUPOS DE INDICES PARA DETERMINAR RELACIONES SIGNIFICATIVAS QUE APOYEN O RECHACEN LA HIPÓTESIS PROPUESTA.**

##### **4.4.1. PREPARACIÓN MATRIZ DE DATOS PARA CORRELACIÓN ESTADÍSTICA**

La matriz de datos contiene la sumatoria de cada país en los 4 ISD y la sumatoria de cada país en los 4 ISF. De esta forma se obtuvo un total de 19 valores que representan la sustentabilidad total de cada país en el sentido débil y 19 valores que representan la sustentabilidad total de cada país en el sentido fuerte. Además de estos valores la matriz contiene los valores de cada país en cada uno de los 3 índices de complejidad.

##### **4.4.2. CORRELACIÓN EN GRÁFICA DISPERSIÓN DATOS.**

Se correlacionó cada uno de los 3 índices de complejidad con la sustentabilidad total débil y la sustentabilidad total fuerte. En total se realizaron 6 gráficas, 2 para índice de complejidad. El grado de correlación y las gráficas se realizaron mediante herramientas estadísticas tradicionales.

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

## 5.1. SELECCIÓN INDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE.

A continuación se presentan 4 índices de sustentabilidad débil (ISD) y 4 índices de sustentabilidad fuerte (ISF) seleccionados. Estos en su conjunto abarcan las 3 dimensiones de la sustentabilidad. Como se presentó en el marco teórico, los ISF implícitamente imponen y acusan límites biofísicos. En cambio los ISD no imponen límites físicos e implícitamente consideran el incremento de bienes de capital como condición para lograr la sustentabilidad. Se adjunta el link para acceder a los documentos respectivos para conocer los índices en detalle.

### 5.1.1. Índices de Sustentabilidad débil (desde ahora ISD):

#### 1. PIB (Producto Interno Bruto PPA per cápita, 2008)

**Fuente:** Banco Mundial. Base de datos del Programa de Comparación Internacional. Indicadores del desarrollo mundial.  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GNP.MKTP.PP.CD>

**Resumen:** Mide el valor total a precios de mercado de los bienes y servicios producidos en un país. Está relacionado directamente con la disposición de bienes de capital por habitante al interior de un país.

#### 2. IDH-D (Índice de Desarrollo Humano ajustado por desigualdad 2010)

**Fuente:** Informe de Desarrollo Humano 2010, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.  
[http://hdr.undp.org/en/media/HDR\\_2010\\_ES\\_Complete\\_reprint.pdf](http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2010_ES_Complete_reprint.pdf)

**Resumen:** Mide el bienestar de la población en función de la esperanza de vida, nivel de escolaridad, desigualdad económica y renta per capita.

### 3. EPI (Índice de Desempeño Ambiental, 2008)

**Fuente:** Environment Performance Index Report 2008, Yale Center for Environment Law and Policy, Yale University. [http://www.yale.edu/epi/files/2008EPI\\_Text.pdf](http://www.yale.edu/epi/files/2008EPI_Text.pdf)

**Resumen:** Por un lado mide la calidad ambiental local en función de los efectos de la contaminación sobre la población (polución, calidad aguas, saneamiento, etcétera) y por otra parte mide la vitalidad de los ecosistemas (gestión de recursos, protección ambiental, aporte al cambio climático, etcétera)

### 4. ISS (Índice de Sociedad Sustentable, 2008)

**Fuente:** Sustainable Society Index 2008. Sustainable Society Foundation. <http://www.ssfindex.com/cms/wp-content/uploads/pdf/ssi-2008.pdf>

**Resumen:** Mide las dimensiones social, ambiental y económica de la sustentabilidad local. En la dimensión social (necesidades básicas cubiertas, desarrollo personal y equilibrio social), la dimensión ambiental (calidad ambiental local, recursos naturales y aporte al cambio climático) y la dimensión económica (ahorro genuino, deuda pública, empleo, renta per cápita).

#### 5.1.2. Índices de Sustentabilidad Fuerte (desde ahora ISF) son:

##### 1. HE (Huella Ecológica per cápita, 2007)

**Fuente:** The Ecological Footprint Atlas 2010, Global Footprint Network. [http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological\\_Footprint\\_Atlas\\_2010.pdf](http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Atlas_2010.pdf)

**Resumen:** Mide la "cantidad de naturaleza" necesaria para producir los bienes que consume una persona y para asimilar los residuos que produce una persona.

## 2. IND HE (Independencia Ecológica per cápita, 2007)

**Fuente:** The Ecological Footprint Atlas 2010, Global Footprint Network. [http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological\\_Footprint\\_Atlas\\_2010.pdf](http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Atlas_2010.pdf)

**Resumen:** Mide la relación entre la oferta de riqueza natural renovable de forma local por habitante versus el consumo de riqueza natural por habitante. Una mayor proporción indica mayor independencia ecológica.

## 3. HC (Huella de Carbono per cápita, 2008)

**Fuente:** CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion. Edition 2010, International Energy Agency. <http://www.iea.org/co2highlights/co2highlights.pdf>

**Resumen:** Mide la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por un habitante promedio de cada país en el periodo de un año.

## 4. IPF (Índice de Planeta Feliz, 2008)

**Fuente:** The Happy Planet Index 2.0, New Economics Foundation. <http://www.ecoversity.org/archives/happy-planet-index-2-0.pdf>

**Resumen:** Mide la relación entre la “felicidad” de los habitantes de un país versus su consumo de riqueza natural. Una mayor relación indica que las personas obtienen mayor “felicidad” con un menor consumo de riqueza natural.

### 5.1.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD

Las características de los índices presentadas en la tabla 5 fueron obtenidas de los reportes presentados en el punto anterior y de trabajos que clasifican a los índices en las categorías de fuerte o débil como Mayer (2008) y Wilson *et al.*, (2007).

**Tabla 5.** Características Índices de sustentabilidad.

Características Índices de Sustentabilidad								
	SSI	IDH-D	PIB PPA	EPI	IPF	IND HE	HE	HC
Tipo de sustentabilidad	Débil	Débil	Débil	Débil	Fuerte	Fuerte	Fuerte	Fuerte
Unidad de medida	Puntaje entre (0 -10)	Puntaje entre (0 -1)	US\$ PPA per cápita	Puntaje entre (0 -100)	Puntaje entre (0 -100)	gha renovable/ gha consumida	gha/cápita	TnCo2/cápita
Dimension	E, S, A	S	E	S, A	S	A	A	A
Escala de aplicación	N	N, R	N, R	N	N	N, R	N, R, E, S	N, R, E, S

**Dimensión que mide: E: economía; S: sociedad; A: ambiente.**

**Escala de aplicación: N: nacional; Regional; E: empresa; S: servicios**

### 5.2. PAÍSES SELECCIONADOS PARA CASO DE ESTUDIO.

Los países de Sudamérica son todos excepto las Guayanas. Los 9 de la OCDE son los más competitivos del 2008 considerados los más estables económicamente. La tabla 6 presenta los países seleccionados.

**Tabla 6.** Países seleccionados para comparación

Países Seleccionados		
Países OCDE	País Neutral	Países Sudamérica
Estados Unidos	Chile	Colombia
Suiza		Brasil
Dinamarca		Uruguay
Suecia		Argentina
Alemania		Perú
Finlandia		Venezuela
Japón		Ecuador
Reino Unido		Bolivia
Holanda		Paraguay

### 5.3. RESULTADOS EVALUACIÓN EN ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL Y FUERTE

#### 5.3.1. MATRIZ DE DATOS PARA EVALUACIÓN.

La tabla 7 muestra los países y sus valores originales en cada índice. Los valores fueron extraídos de los reportes presentados anteriormente. Las unidades están en la tabla 5. Para que estos índices puedan ser comparados, posteriormente se añade la tabla 8 donde los valores de la tabla 7 quedan estandarizados en una escala de 1 a 10.

**Tabla 7.** Matriz de datos de índices sustentabilidad en escalas originales.

Matriz de índices de Desarrollo Sustentable								
País	Sustentabilidad Débil				Sustentabilidad Fuerte			
	SSI	IDH-D	PIB	EPI	IPF	IND HE	HE	HC
Paraguay	6,11	0,482	4744	77,7	47,8	3,571	3,19	0,59
Bolivia	5,52	0,398	4311	64,7	49,3	7,143	2,57	1,33
Ecuador	5,63	0,554	8250	84,4	55,5	1,235	1,89	1,92
Venezuela	5,3	0,549	12829	80	52,5	0,971	2,89	5,21
Perú	5,83	0,501	8576	78,1	54,4	2,5	1,54	1,21
Argentina	5,34	0,562	14426	81,8	59	2,857	2,6	4,36
Uruguay	6,05	0,642	12748	82,3	37,2	1,923	5,13	2,29
Brasil	5,99	0,509	10434	82,7	61	3,125	2,91	1,99
Colombia	5,88	0,492	8932	88,3	66,1	2,128	1,87	1,35
Holanda	6,37	0,818	42848	78,7	50,6	0,167	6,19	10,82
R. Unido	5,93	0,766	36884	86,3	43,3	0,273	4,89	8,34
Japón	6,12	0,806	33851	84,5	43,3	0,13	4,73	9,02
Finlandia	6,93	0,806	37795	91,4	47,2	2,041	6,16	10,65
Alemania	6,21	0,814	37135	86,3	48,1	0,377	5,08	9,79
Suecia	7,02	0,824	39541	93,1	48	1,667	5,88	4,96
Dinamarca	6,29	0,81	39405	84	35,5	0,581	8,26	8,82
Suiza	6,96	0,813	45893	95,5	48,1	0,247	5,02	5,67
EEUU	5,79	0,799	47209	81	30,7	0,49	8	18,38
<b>Chile</b>	<b>6,17</b>	<b>0,634</b>	<b>14543</b>	<b>83,4</b>	<b>49,7</b>	<b>1,19</b>	<b>3,24</b>	<b>4,35</b>

La tabla 8 corresponde a los valores originales presentados en la tabla 7 , esta vez estandarizados en una escala de 0 a 10 para facilitar la comparación entre ellos, ya que originalmente están en diferentes escalas. De esta forma el valor de 0 equivale a nula sustentabilidad y el valor de 10 a una óptima sustentabilidad en cada índice respectivamente. Los valores originales que equivalente a 0 y 10 están detallados en la tabla 9.

**Tabla 8.** Matriz índice de sustentabilidad en escala estandariza entre 0 y 10

País	Matriz Estandarizada índices de Desarrollo Sustentable							
	Sustentabilidad Débil				Sustentabilidad Fuerte			
	SSI	IDH-D	PIB	EPI	IPF	IND HE	HE	HC
Paraguay	6,11	4,82	0,95	7,77	4,78	3,52	6,81	9,71
Bolivia	5,52	3,98	0,86	6,47	4,93	7,33	7,43	9,34
Ecuador	5,63	5,54	1,65	8,44	5,55	1,23	8,11	9,04
Venezuela	5,3	5,49	2,57	8	5,25	0,97	7,11	7,4
Perú	5,83	5,01	1,72	7,81	5,44	2,51	8,46	9,4
Argentina	5,34	5,62	2,89	8,18	5,9	2,88	7,4	7,82
Uruguay	6,05	6,42	2,55	8,23	3,72	1,93	4,87	8,86
Brasil	5,99	5,09	2,09	8,27	6,1	3,09	7,09	9
Colombia	5,88	4,92	1,79	8,83	6,61	2,13	8,13	9,33
Holanda	6,37	8,18	8,57	7,87	5,06	0,17	3,81	4,59
R. Unido	5,93	7,66	7,38	8,63	4,33	0,27	5,11	5,83
Japón	6,12	8,06	6,77	8,45	4,33	0,13	5,27	5,49
Finlandia	6,93	8,06	7,56	9,14	4,72	2,02	3,84	4,68
Alemania	6,21	8,14	7,43	8,63	4,81	0,38	4,92	5,11
Suecia	7,02	8,24	7,91	9,31	4,8	1,66	4,12	7,77
Dinamarca	6,29	8,1	7,88	8,4	3,55	0,58	1,74	5,59
Suiza	6,96	8,13	9,18	9,55	4,81	0,25	4,98	7,17
EEUU	5,79	7,99	9,44	8,1	3,07	0,49	2	0,81
Chile	6,17	6,34	2,91	8,34	4,97	1,18	6,76	7,83

### 5.3.2. VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS ORIGINALES EQUIVALENTES A 0 Y 10 EN MATRIZ ESTANDARIZADA.

**Tabla 9.** Asignación de valores de sustentabilidad nula y óptima para índices bajo criterio de la sustentabilidad débil y fuerte.

	Sustentabilidad Nula (0)	Sustentabilidad óptima (10)
Índices Sustentabilidad Débil		
SSI	puntaje 0	puntaje 10
IDH-D	puntaje 0	puntaje 1
PIB	\$ 0/cápita	\$50'000/cápita
EPI	puntaje 0	puntaje 100
Índices Sustentabilidad Fuerte		
IPF	puntaje 0	puntaje 100
IND HE	gha renovable local/gha consumo igual a 0	gha renovable local/gha consumo igual a 8
HE	10 gha/cápita	0 gha/cápita
HC	20 TnCo2/ cápita	0 TnCo2/cápita



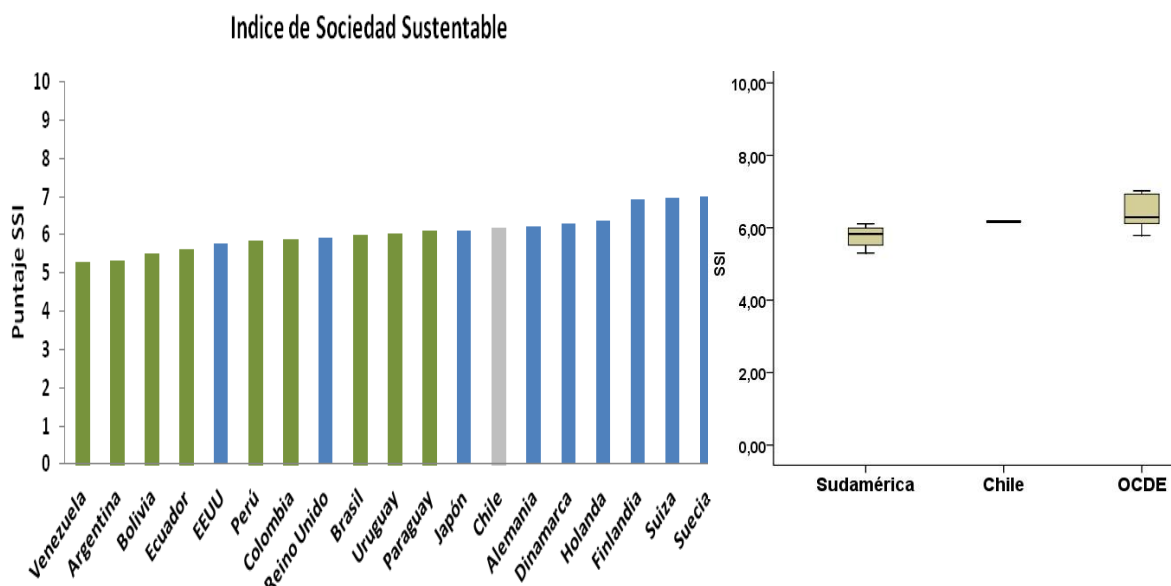
La tabla 9 detalla las equivalencias para cada índice. Para el EPI, SSI, IDH-D los valores originales equivalentes a 0 (sustentabilidad nula) y 10 (sustentabilidad óptima) vienen previamente definidos en las escalas originales como muestra la tabla 8. Para el PIB PPA por no existir un valor máximo previamente definido se asignó un valor de US\$50'000/cápita similar a economías como Noruega, Mónaco, Luxemburgo.

Para la huella ecológica (HE) por no existir un valor máximo de consumo como criterio de insustentabilidad se asignó un valor de 10gha/cápita similar a los países más consumidores de Huella Ecológica. Este valor asignado corresponde a una sustentabilidad nula. Para la HC tampoco existe un valor máximo como criterio de insustentabilidad por lo tanto se asignó un valor de 20TnCo2/cápita similar a los países con mayores huellas de carbono. Este valor asignado corresponde a una sustentabilidad nula. Por último para la IND-HE tampoco existe un valor para el cociente (gha renovable/gha consumida) como criterio de insustentabilidad, por lo tanto se asignó un valor de 0, o sea una situación de nula independencia donde el consumo supera con creces a la disponibilidad local renovable de recursos naturales. Para la IND HE tampoco existe un valor de sustentabilidad óptima, por lo tanto se asignó un valor de 8 para el cociente (gha renovable/gha consumida) como criterio de sustentabilidad, o sea una situación gran auto-dependencia donde la disponibilidad local de recursos renovables es 8 veces superior al consumo de sus habitantes. A continuación se presentan la tabla 9 que resume los valores de sustentabilidad óptima y nula para cada índice de sustentabilidad débil y fuerte.

### 5.3.3. RESULTADOS APLICACIÓN ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL

A continuación los países se comparan en los 4 índices de sustentabilidad débil. Cada índice se presenta en 2 gráficas. En la primera gráfica el índice está en su escala original y los países se ordenan de menor a mayor para conocer la posición relativa de Chile. En la segunda gráfica el índice está en la escala estandarizada entre 0 y 10 donde 0 corresponde a nula sustentabilidad y 10 a una máxima sustentabilidad.

#### 5.3.3.1. GRÁFICA DE BARRAS Y CAJAS (4 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE)



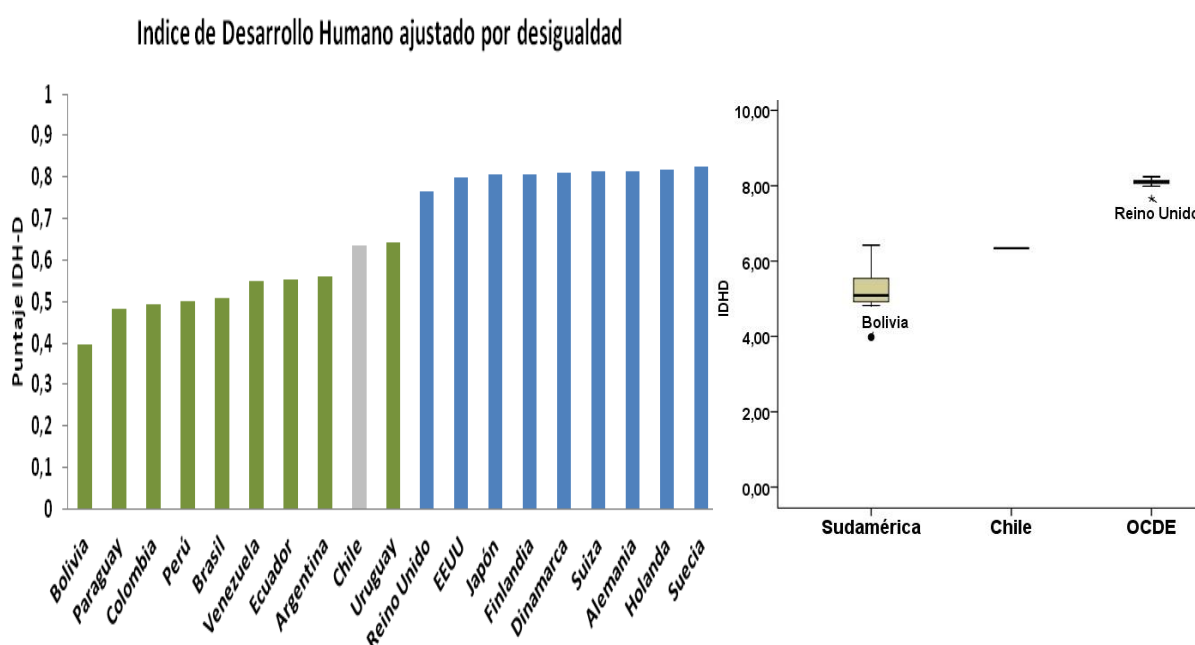
**Figura 9.** Comparación Chile en escala original SSI 2008

**Figura 10.** Comparación Chile en escala SSI 2008 estandarizada entre 0 y 10.

La figura 9 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original del SSI 2008. La figura 10 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 6,17. Sudamérica posee una sustentabilidad media de  $5,74 \pm 0,31$  y la OCDE de  $6,41 \pm 0,47$ . Los grupos de Sudamérica y la OCDE poseen distribución normal y la prueba F ( $P < 0,05$ ) indica que si existen diferencias significativas. La prueba Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) están

en OCDE vs Sudamérica. No existe diferencias significativas en Chile vs OCDE y en Chile vs Sudamérica.

En la figura 10, el valor de 10 indica un equilibrio máximo en las 3 dimensiones. La figura 10 muestra que Sudamérica es más homogéneo que la OCDE. Si bien hay diferencia significativa entre Sudamérica y la OCDE, esta es baja. La OCDE en promedio está más próxima al objetivo de 10, ya que logra mejor equilibrio en las tres dimensiones. Chile a pesar de no mostrar diferencias significativas está más cerca de la OCDE.



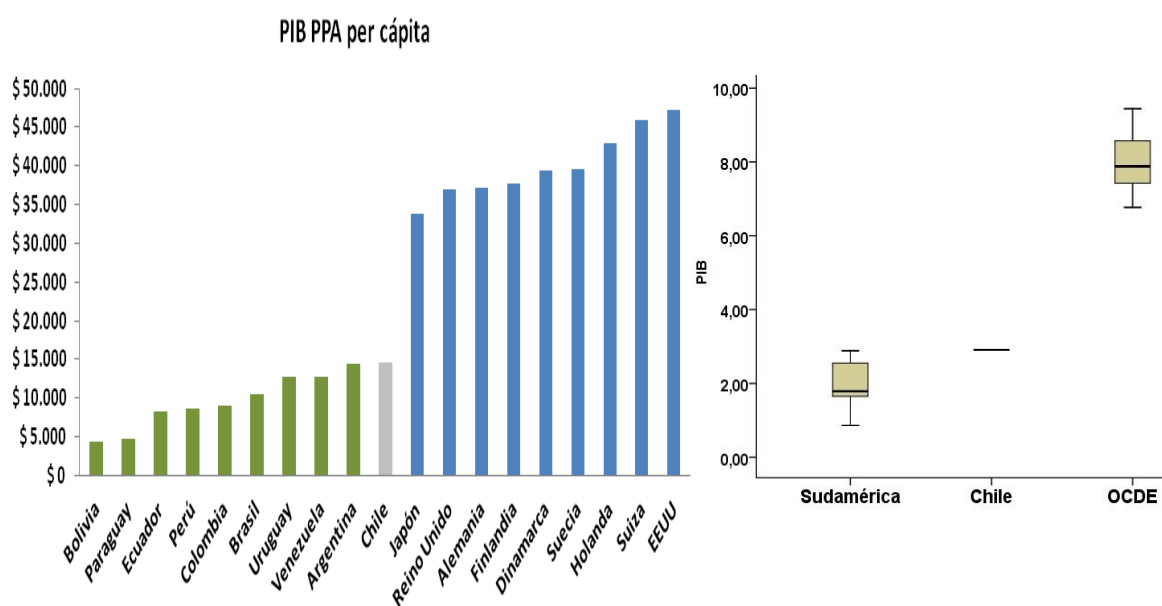
**Figura 11.** Comparación Chile en escala original IDH-D 2010

**Figura 12.** Comparación Chile en escala IDH-D 2010 estandarizada entre 0 y 10.

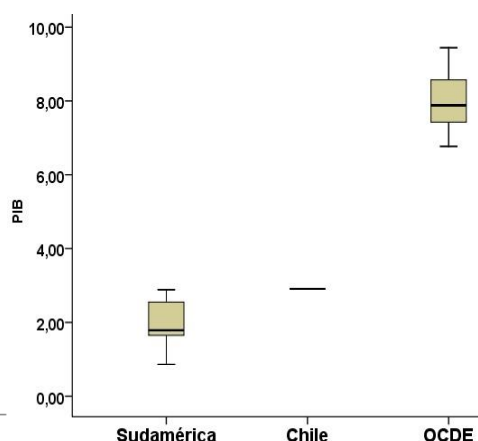
La figura 11 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original de IDH-D 2010. La figura 12 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 6,34. Sudamérica una Sustentabilidad media de  $5,21 \pm 0,67$  y la OCDE de  $8,06 \pm 0,18$ . El grupo de Sudamérica presenta distribución normal mientras el grupo

de la OCDE no presenta una distribución normal y la prueba F ( $P < 0,05$ ) indica que si existe diferencias significativas. La prueba de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) está en OCDE vs Sudamérica. No existe diferencias significativas en Chile vs OCDE y Chile vs Sudamérica.

En la figura 12 el valor de 10 indica una sociedad con la mejor esperanza de vida, educación, ingresos per cápita y menor desigualdad social. La figura 12 muestra que la OCDE es más homogéneo que Sudamérica. En Sudamérica las realidades son más dispersas entre países destacando la baja calificación de Bolivia, siendo el país más alejado de la sustentabilidad óptima de 10. Chile a pesar de no mostrar diferencias significativas guarda mayor similitud con Sudamérica.



**Figura 13.** Comparación Chile en escala original PIB PPA per cápita 2008

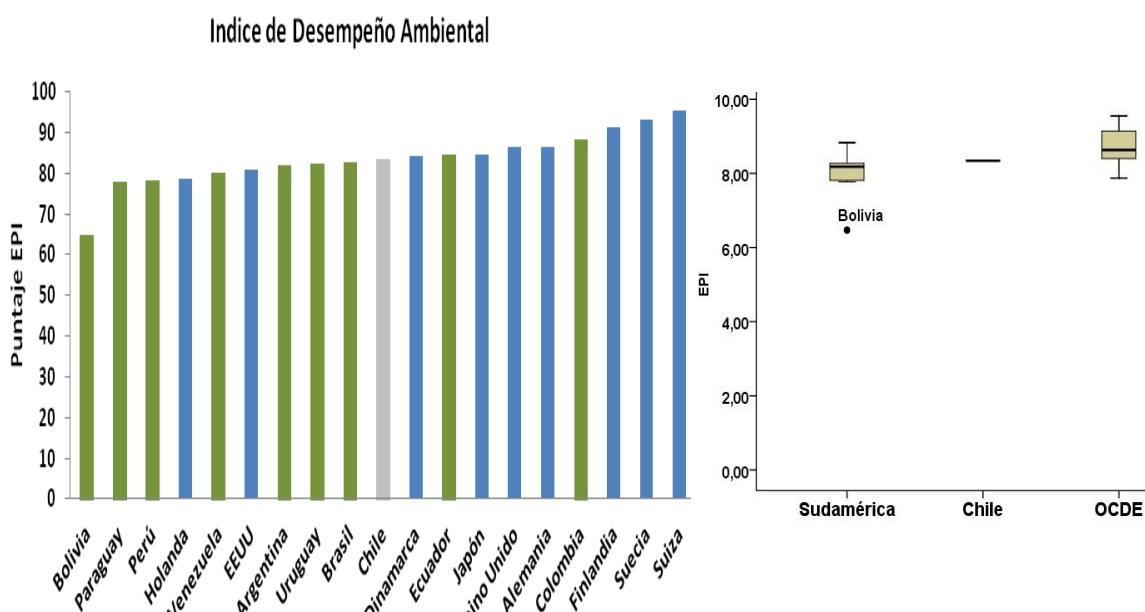


**Figura 14.** Comparación Chile en escala PIB PPA per cápita 2008 estandarizada entre 0 y 10.

La figura 13 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original del PIB PPA per cápita 2008. La figura 14 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 2,91.

Sudamérica posee una sustentabilidad media de  $1,90 \pm 0,61$  y la OCDE de  $8,01 \pm 0,88$ . Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE poseen una distribución normal y la prueba F indica que si existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). La prueba de Tukey- Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) están entre Chile vs OCDE y OCDE vs Sudamérica. No hay diferencia significativa en Chile vs Sudamérica.

En la figura 14 el valor de 10 equivale a una renta de US\$ 50'000 per cápita. En este índice se presenta la mayor diferencia entre grupos. La media de la OCDE es 8 veces superior a la media de Sudamérica. Chile posee mayor similitud con Sudamérica. En este índice se presentan las mayores diferencias entre Sudamérica y la OCDE.



**Figura 15.** Comparación Chile en escala original EPI 2008

**Figura 16.** Comparación Chile en escala EPI 2008 estandarizada entre 0 y 10.

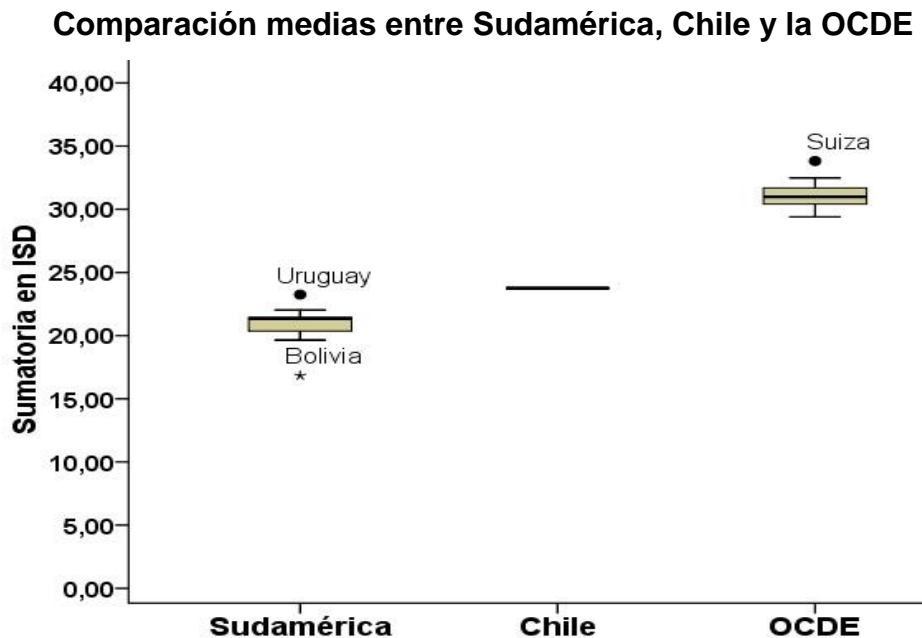
La figura 15 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original de EPI 2008. La figura 16 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 8,34.

Sudamérica posee una sustentabilidad media de  $8 \pm 0,66$  y la OCDE de  $8,67 \pm 0,56$ . Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE presentan una distribución normal y la prueba F indica que no existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). El test de Tukey-Kramer confirma que no existe diferencias ni en Chile vs OCDE, Chile vs Sudamérica y tampoco entre la OCDE vs Sudamérica.

En la figura 15 el valor de 10 indica una calidad ambiental local óptima. Tanto Chile, Sudamérica y la OCDE se hallan a similar distancia del óptimo de 10 presentando nula diferencia significativa entre ellas. Bolivia es el peor evaluado, tanto que se aleja de la media de Sudamérica.

### 5.3.3.2. GRÁFICA DE CAJAS (4 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

La gráfica 17 es un agregado de los 4 índices anteriores, donde cada uno se convierte en un indicador de un nuevo índice. Este nuevo índice entrega un panorama global al considerar los 4 índices de sustentabilidad simultáneamente. El valor de 40 equivale a obtener 10 en cada índice.



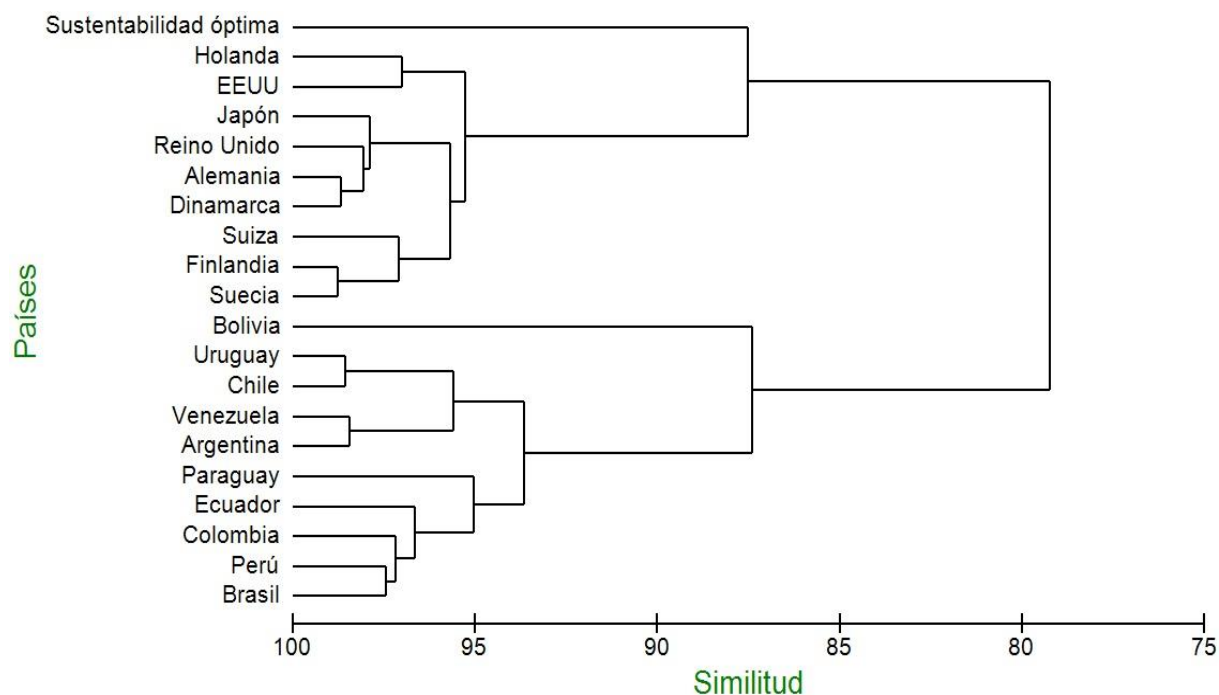
**Figura 17.** Comparación sustentabilidad débil media entre Chile, Sudamérica y la OCDE

La figura 17 muestra la posición relativa de la sumatoria de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE. La máxima calificación posible corresponde a 40. Chile obtiene una suma de 23,76. Sudamérica obtiene una suma media de  $20,84 \pm 1,8$  y la OCDE una suma media de  $31,15 \pm 1,38$ . Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE presentan distribución normal y la prueba F indica que si existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). El test de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) están entre Chile vs OCDE y Sudamérica vs OCE. No hay diferencias significativas entre Chile vs Sudamérica.

Desde una perspectiva global de sustentabilidad débil, considerando los 4 índices simultáneamente, el grupo de la OCDE es el más próximo a 40 destacando Suiza que se distancia de su grupo, mostrando un desempeño superior a la media de su grupo. Esto lo posiciona como ejemplo de sustentabilidad débil. Sudamérica está más distante del objetivo, indicando aún posee desafíos en materia ambiental y social según los parámetros de la sustentabilidad débil. Destaca Uruguay y Bolivia que se distancian del grupo. Uruguay de manera positiva mostrando un desempeño superior a la media del grupo. En cambio Bolivia se distancia pero negativamente, mostrando un desempeño deficiente, por debajo de la media del grupo. Chile aparece más próximo a Sudamérica, evidenciado que a pesar de pertenecer al grupo de la OCDE, aún mantiene desafíos por cumplir en materia ambiental y social según los estándares de la OCDE.

### 5.3.3.3. GRÁFICA SIMILITUD METODO BRAY CURTIS (4 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE).

Las gráficas en la figura 18 y 19 detallan la similitud entre países considerando los 4 índices simultaneamente, que no es posible determinar considerando cada índice individualmente: PIB per cápita PPA (PIB PPA), índice sociedad sustentable (SSI), índice de desarrollo humano ajustado por desigualdad (IDH-D) e índice de desempeño ambiental (EPI). La figura 19 muestra la gráfica espacial obtenida al realizar el análisis de similitud Bray Curtis. Esta gráfica, a diferencia del dendograma tradicional de la figura 18, permite conocer la distancia de cada país respecto a la sustentabilidad óptima débil.



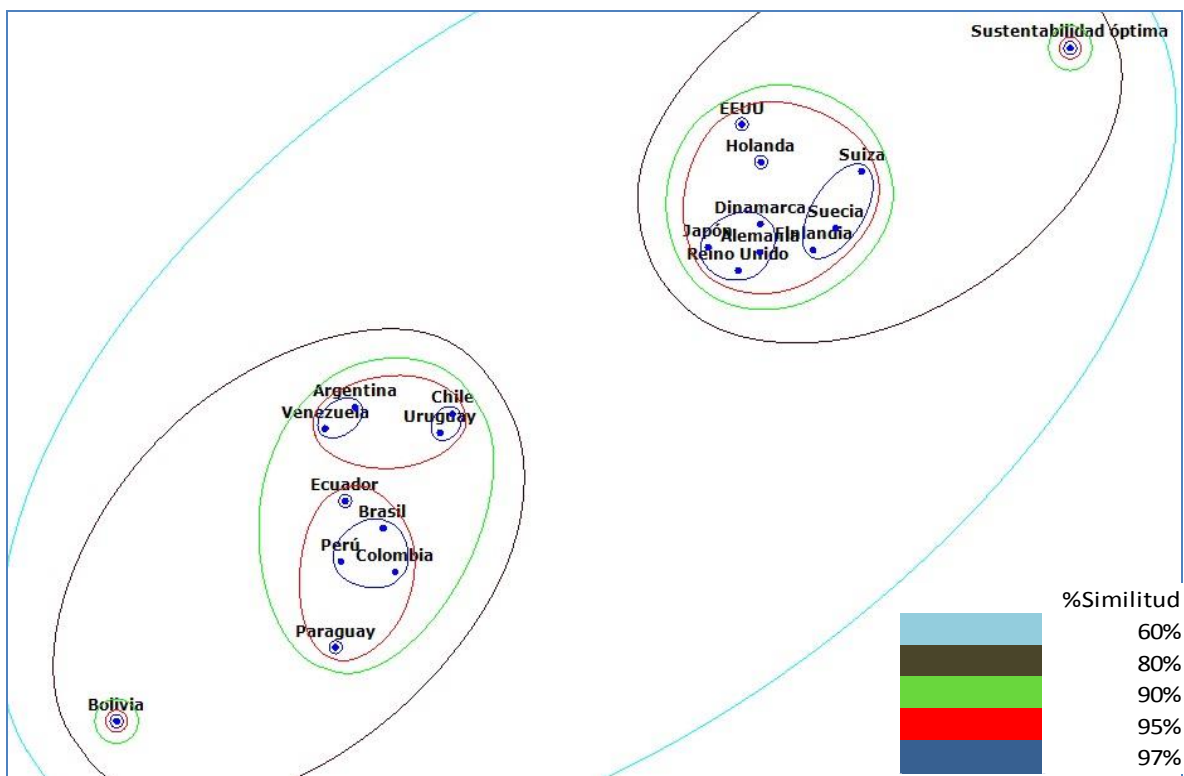
**Figura 18.** Dendograma de Similitud Bray Curtis en sustentabilidad débil.

La figura 18 muestra el dendograma del análisis de similitud Bray Curtis para los países en estudio. Antes de realizar un corte en un 78% de similitud, todos los países forman un único clúster indicando que todos poseen al menos una similitud de un 78%. A realizar un corte en un 80% de similitud y ocurre la primera ramificación y se forma un clúster que agrupa a los países de Sudamérica y otro a los países de la OCDE. Al realizar un corte en un 90% de similitud se forman 4 clúster y destaca la separación de Bolivia de Sudamérica



indicando que todos los países de Sudamérica poseen al menos un 90% de similitud excepto Bolivia. Luego al realizar un corte en un 97% se forman clúster más pequeños donde los países al interior de cada nuevo clúster poseen al menos un 97% de similitud entre sí.

La figura 18 muestra que el clúster de “sustentabilidad óptima débil” se desprende de la ramificación de la OCDE, indicando que es más similar a este. Por otra parte, Bolivia también se desprende tempranamente de Sudamérica, indicando menor similitud en relación a su grupo. A medida que se exige mayor similitud van surgiendo diferentes grupos según afinidad. Por ejemplo el grupo de Suecia, Suiza y Finlandia que tienen desempeños similares en los 4 índices de sustentabilidad débil. Chile se ubica en el grupo de Sudamérica y posee mayor similitud con Uruguay. Bolivia presenta menor similitud con el resto de Sudamérica.



**Figura 19.** Gráfica espacial Similitud Bray Curtis en sustentabilidad débil.

La circunferencia celeste de mayor tamaño agrupa al interior países que poseen al menos un 60% de similitud. En este caso todos los países poseen al menos una similitud de un 60%. Luego las dos circunferencias de color café

agrupan países que posee al menos un 80% de similitud. Las cuatro circunferencias verdes agrupan países que poseen al menos una similitud de un 90%. En este caso, al ser mayor la exigencia de similitud, se forman cuatro clúster donde destaca el alejamiento de Bolivia respecto a Sudamérica. También destaca el clúster de “sustentabilidad óptima” que se aleja de la OCDE. Las circunferencias rojas agrupan países que poseen al menos una similitud de un 95%. En este nivel de similitud se forman varios clúster en donde cada uno reúne países que comparten características particulares entre sí. Finalmente las circunferencias de color azul señalan un 97% de similitud en donde se forman 11 pequeños clúster con características más similares aún.

La figura 19 muestra que Suiza está más próximo de este objetivo. Suiza forma un grupo junto a Finlandia y Suecia siendo el grupo más próximo a la sustentabilidad débil ideal. También se aprecia como los países de Sudamérica están más disperso indicando que existe mayor diversidad de realidades en los aspectos sociales, ambientales y económicos entre países de Sudamérica. Bolivia muestra el mayor distanciamiento a la realidad promedio de Sudamérica, siendo además el peor representante de sustentabilidad desde la perspectiva débil. En cambio los países de la OCDE aparecen más próximos entre si evidenciando mayor homogeneidad en la dimensión ambiental, social y económica. EEUU se distancia levemente del grupo.

#### 5.3.3.4. DISCUSIONES EVALUACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA SUSTENTABILIDAD DÉBIL

Las diferencias más significativas entre Sudamérica y la OCDE están en la dimensión social y económica (IDH-D y el PIB PPA per cápita), más no en la dimensión ambiental medidos en el SSI y EPI. La OCDE en relación a Sudamérica muestra mejor desempeño en la dimensión social y económica, presentando solo una leve superioridad en la dimensión ambiental. Los resultados muestran que Chile a pesar de pertenecer a la OCDE, posee mayor similitud con Sudamérica indicando que aún mantiene desafíos pendientes respecto a los parámetros de la OCDE. Chile supera a todos los países de Sudamérica, seguido de cerca por Uruguay. Por otra parte, Chile es superado por todos los países de la OCDE. Sin embargo, la política ambiental de Chile es asemejarse a la OCDE. En general, las políticas ambientales a nivel global muestran que la tendencia actual de gran parte de los países está en alcanzar la sustentabilidad en el sentido débil, tomando como referentes países como Suecia, Noruega, Finlandia.

Un punto importante desde el criterio de la sustentabilidad débil es el sesgo respecto al consumo de recursos comunes globales. Por ejemplo el EPI no incluye indicadores de consumo de recursos globales. Este hecho tiene sentido desde la perspectiva débil, donde la sustentabilidad de un país se relaciona con su desempeño económico y no con su austeridad en el consumo de recursos como señalan Siche *et al.*, (2008) y Dresner (2002). En línea con los anterior, en Wilson (2007) y Esty *et al.*, (2008) se halla una relación positiva entre EPI y PIB per cápita. Los indicadores de consumo global de recursos, como huella ecológica por ejemplo, no son tomados en cuenta o poseen un bajo peso en los índices de sustentabilidad débil (En el SSI un peso mínimo). Por esto los países de la OCDE a pesar de poseer las mayores tasas de consumo de recursos globales por habitante no pierden sustentabilidad desde la perspectiva de la sustentabilidad débil, ya que un mayor consumo, sumado a una buena gestión permite incrementar los bienes de capital por habitante, necesario para invertir en la dimensión social y ambiental local. Conclusiones similares se hallan en los trabajos de Wilson (2007) y Siche *et al.*, (2008) En el caso de

Sudamérica, desde la perspectiva de sustentabilidad débil, el menor consumo de recursos globales por habitante de Sudamérica no le hace más sustentable, todo lo contrario, es causa de su insustentabilidad, como acusan los índices de sustentabilidad débil. Como se discute en Martines-Alier (2005) estos países serían demasiado pobres para ser verdes y por lo tanto una condición necesaria para la sustentabilidad, está en un incremento de bienes de capital por habitante, como tecnologías, lo que permitirá reducir presiones ambientales locales.

Hay que destacar que el incremento de bienes de capital no es la única condición necesaria. Otra condición importante que escapa a este trabajo trata sobre la gestión de los recursos y el grado de participación del gobierno y mercado en la gestión de estos. Este debate cae en el dominio de la política ambiental. Sin embargo desde una perspectiva puramente física y tangible tratada en este trabajo, la presencia de bienes de capital es fundamental, independiente de las posiciones políticas. Todo el espectro político concuerda en que la presencia de bienes de capital es indispensable para la sustentabilidad en el sentido débil.

En el EPI no existen diferencias significativas entre Sudamérica y la OCDE. Sin embargo pueden hallarse diferencias al desagregar EPI y atender los indicadores que los componen, que se dividen en dos grandes grupos, los indicadores de calidad ambiental urbana y los indicadores de protección a los ecosistemas. En el caso de Sudamérica, este posee bajo desempeño en los indicadores de calidad ambiental urbana, pero lo compensa con un buen desempeño en los indicadores de protección a los ecosistemas, siendo Colombia el mejor ejemplo. Por el contrario, la OCDE si bien logra buen desempeño en los indicadores de calidad ambiental urbana, lo cancela con su bajo desempeño en los indicadores de protección a los ecosistemas debido a sus altas emisiones de gases invernadero.

Desde la posición de la sustentabilidad débil, el pobre desempeño de Sudamérica en los indicadores de calidad ambiental urbana de EPI en relación a la OCDE (contaminación atmosférica urbana, indicadores sanitarios, gestión

residuos sólidos y líquidos, etcétera), se debe al tipo de composición de sus estructuras productivas. En Sudamérica los factores de mayor peso son los recursos naturales, resultando en un intensivo procesamiento de materia y energía en territorio local y por ende mayores presiones ambientales sobre el entorno local. Sumado a esto la poca capacidad técnica para afrontar tales presiones. Por ejemplo Chile en el sector minero, agrícola, forestal y pesquero producen fuertes externalidades ambientales sobre el entorno local donde operan. En la OCDE el principal capital es el humano, resultando en una estructura productiva menos intensiva en el procesamiento de recursos naturales en territorio local y por tanto menos presiones sobre el ambiente local, lo que es valorado por los índices de sustentabilidad débil.

En el caso de la OCDE en EPI, si bien en términos de calidad ambiental urbana es superior a Sudamérica, presenta deficiencias en los indicadores de protección a los ecosistemas debido a las emisiones de gases invernadero. La solución a esto también sería un asunto de tecnología y conocimiento, que permita reemplazar las fuentes de energías fósiles e iniciar un descenso de sus gases invernaderos y reducir así las presiones sobre los ecosistemas. La OCDE estaría más próxima a iniciar este descenso ya que posee mayor disposición de bienes de capital respecto a Sudamérica, como tecnología y conocimiento, que le da ventaja para reducir costos y acceder antes a energía limpias a gran escala. En caso de ocurrir esto, las emisiones de gases invernadero respecto al PIB per cápita PPA deberían presentar una evolución en forma de U invertida (curva ambiental de Kuznets) De cumplirse la curva ambiental de kuzents para los gases invernadero, en el futuro la OCDE debería superar a Sudamérica en EPI ya que además de buena calidad ambiental local, lograrán buen desempeño en la protección a los ecosistemas.

En el IDH-D la superioridad de la OCDE tiene directa relación con su PIB PPA per cápita, indicando una fuerte relación entre crecimiento económico y desarrollo humano como muestra Wilson (2007). El IDH-D muestra que en los países de Sudamérica hay mayor desigualdad en comparación a la OCDE. El mayor IDH-D de la OCDE indica una población más educada, mayor esperanza de vida, mayor poder adquisitivo y menor desigual. Referentes en este índice

son Suecia, Alemania, Finlandia. Junto a un mejor desarrollo humano, mayor es la conciencia ambiental junto con la capacidad económica y técnica para ponerla en práctica como se sugiere en Esty *et al.*, (2008) y Pillarisetti *et al.*, (2010). Por el contrario, en diversas regiones de Sudamérica como en Paraguay, Bolivia, Perú, la demanda de calidad ambiental local no es primera prioridad para la población, ya que la demanda está enfocada en empleo y cobertura de necesidades básicas. En Wilson *et al.*, (2007) se muestra una relación positiva entre IDH-D y EPI. A mayor desarrollo humano, mayor calidad del medio ambiente local. Ejemplo de estos son los países nórdicos, donde su mayor desarrollo humano y mayor renta per cápita les permite disponer de medios para mejorar su calidad ambiental.

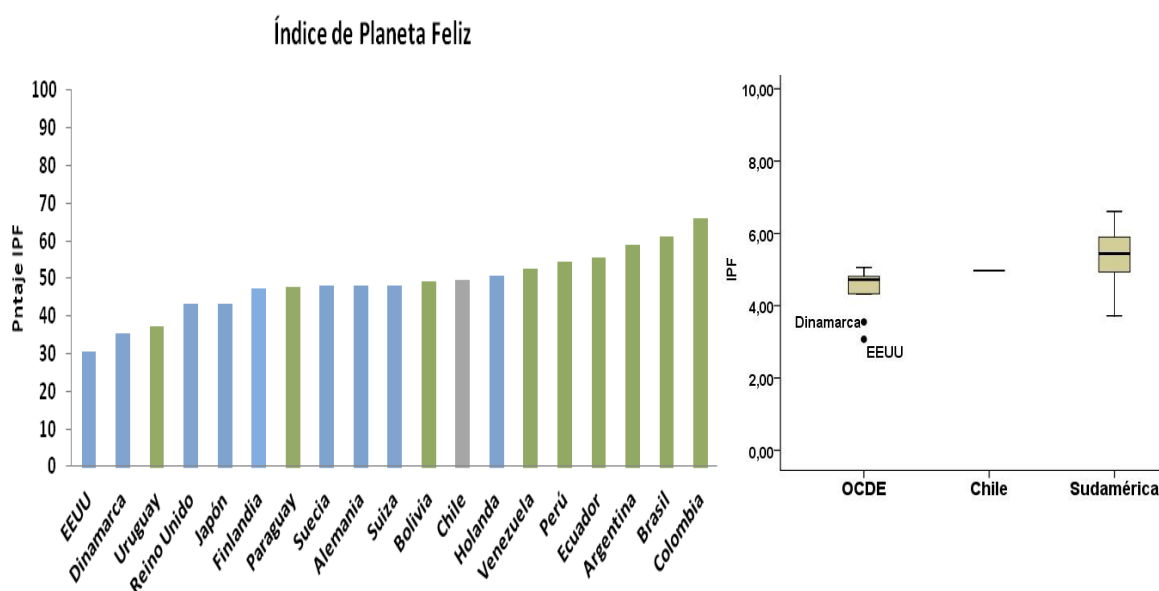
En el SSI las diferencias son leves, la razón también se hallaría en un indicador llamado “aporte a la sustentabilidad global” que al igual que el EPI incluye la emisión de gases invernadero, pero además añade el consumo de huella ecológica. Respecto a los gases invernadero, como se mencionó, en el futuro podría dibujarse una curva de Kuznets. Sin embargo como muestra Bagliani, *et al.* (2008) ésta curva de Kuznets no puede aplicarse a la huella ecológica ya que es imposible un punto de inflexión a partir del cual, un mayor PIB PPA per cápita permita que la huella ecológica comience a decrecer hasta desaparecer. Tal situación sería una imposibilidad física ya que un mayor PIB PPA per cápita implica mayores bienes de capital (infraestructuras, máquinas, herramientas, equipos tecnológicos, información, etcetera) y la producción de estos requiere la transformación de recursos naturales, resultando en mayor huella ecológica.

Suiza junto a Suecia y Finlandia son los mejores exponentes de la sustentabilidad débil logrando mayor equilibrio entre la dimensión económica, social y ambiental local, conformando un grupo aparte en la OCDE como indican las figuras 18 y 19. Estos países con frecuencia son presentados como referentes de sustentabilidad para países en vías de desarrollo como Chile. Considerando los objetivos de sustentabilidad débil, Bolivia es el menos sustentable ya que obtiene el último lugar en calidad ambiental local (EPI), en el desarrollo humano (IDH-D) y en la renta per cápita (PIB PPA per cápita). La baja calificación de Bolivia la ubica bajo la media de Sudamérica.

### 5.3.4. RESULTADOS COMPARACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA SUSTENTABILIDAD FUERTE

A continuación los países se comparan en los 4 índices de sustentabilidad fuerte. Cada índice se presenta en 2 gráficas. En la primera gráfica el índice está en su escala original y los países se ordenan de menor a mayor para conocer la posición relativa de Chile. En la segunda gráfica el índice está en la escala estandarizada entre 0 y 10.

#### 5.3.4.1. GRÁFICA DE BARRAS Y CAJAS (4 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE)



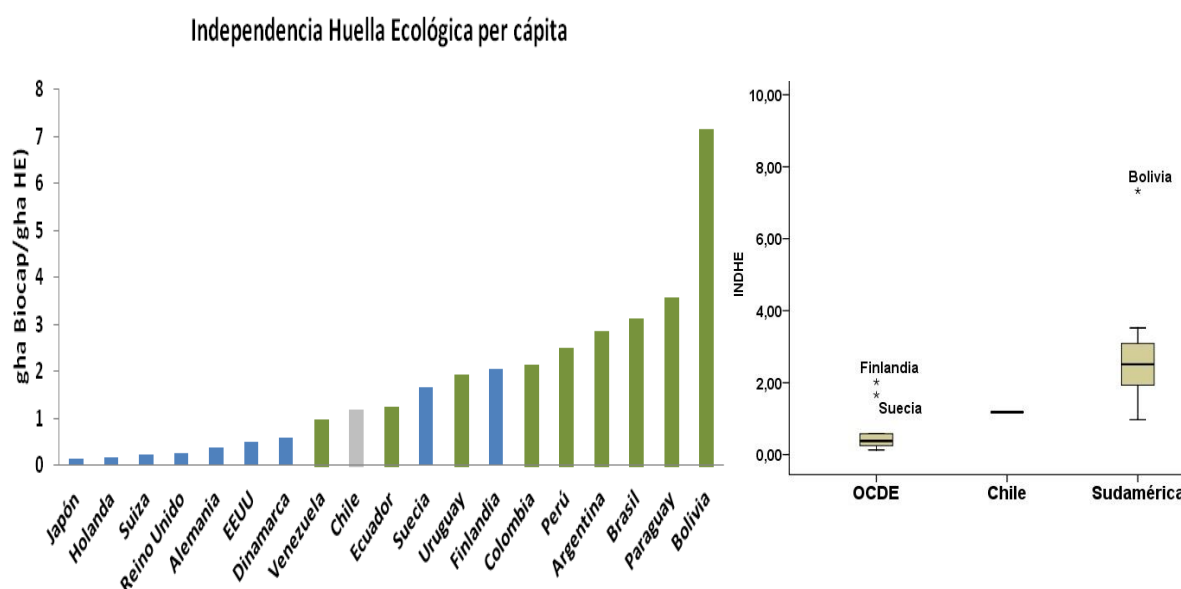
**Figura 20.** Comparación países en escala original en IPF 2008

**Figura 21.** Comparación países escala IPF 2008 estandarizada entre 0 y 10.

La figura 20 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original de IPF 2008. La figura 21 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 4,97. Sudamérica posee una sustentabilidad media de  $5,36 \pm 0,86$  y la OCDE de  $4,39 \pm 0,66$ . Tanto Sudamérica como la OCDE presentan una distribución normal. La prueba F ( $P < 0,05$ ) indica que si existe diferencias significativa. La prueba de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas están en

OCDE vs Sudamérica. No existe diferencias significativas en Chile vs OCDE y Chile vs Sudamérica.

En la figura 21 el valor de 10 equivale a la producción de una feliz larga vida en la población con el mínimo consumo de recursos naturales. Sudamérica está más próximo al objetivo. La figura 21 muestra que Sudamérica presenta más heterogeneidad. Chile se halla entre ambos grupos sin mostrar diferencias significativas. Destaca las bajas calificaciones de EEUU y Dinamarca indicando que tales países logran la menor eficiencia en la relación entre producción de felicidad / consumo de recursos naturales.



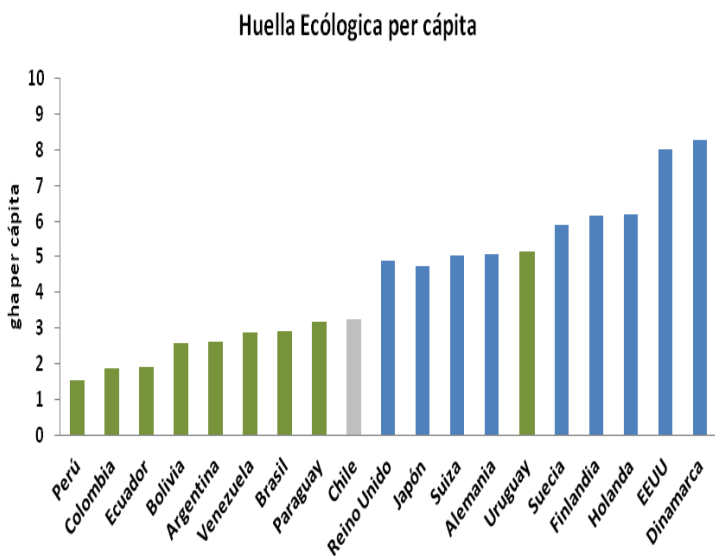
**Figura 22.** Comparación Chile en escala original IND HE per cápita 2008

**Figura 23.** Comparación Chile en escala IND HE per cápita 2008 estandarizada entre 0 y 10.

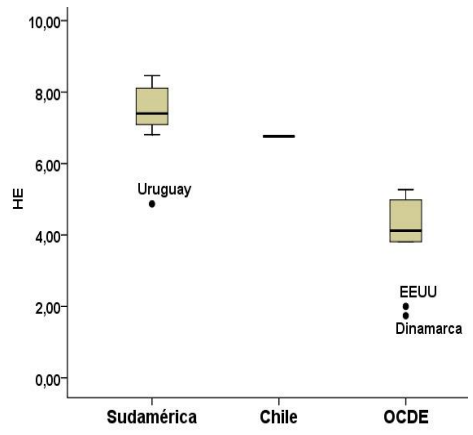
La figura 22 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original de IND HE 2007. La figura 23 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 1,19. Sudamérica de 2,28 y la OCDE de 0,66 En esta ocasión ni Sudamérica ni la OCDE presentan distribución normal y por lo tanto no pueden aplicarse Shapiro Wilk para conocer si existen diferencias significativas. La prueba de Kruskal Wallis ( $P < 0,05$ ) indica que si existen diferencias significativas.



En la figura 23 un valor de 10 equivale a una biocapacidad local capaz de soportar 8 veces el consumo de huella ecológica para un país. Sudamérica está más próximo al objetivo de sustentabilidad. Destaca el caso de Bolivia que posee una cantidad de recursos renovables 7 veces mayor al consumo de su población, siendo el país más independiente ecológicamente. Como muestra la figura 23 el grupo de la OCDE es homogéneo a excepción de Finlandia y Suecia. Estos países son una excepción debido a extensos territorios ricos en recursos naturales y baja población. Esto les permite una gran independencia a pesar de sus elevadas huellas ecológicas.



**Figura 24.** Comparación Chile en escala original HE per cápita 2007

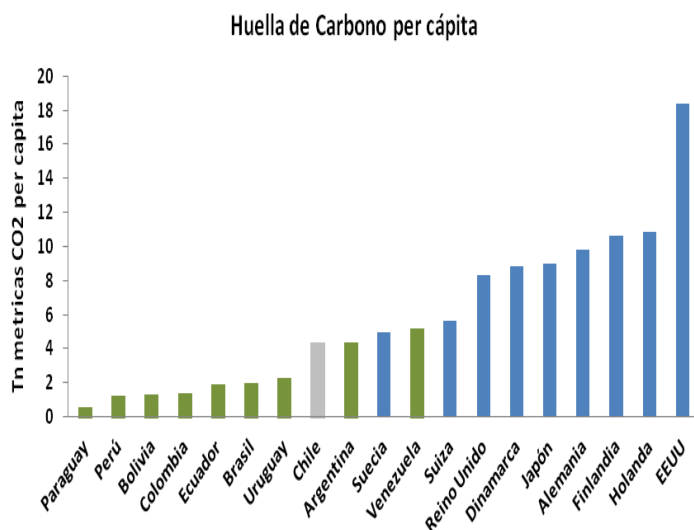


**Figura 25.** Comparación Chile en escala HE per cápita 2007 estandarizada entre 0 y 10.

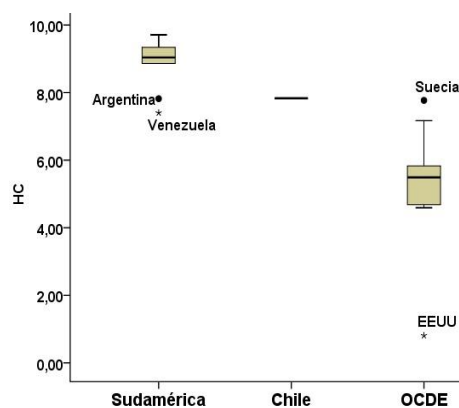
La figura 24 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original de Huella Ecológica per cápita 2007. La figura 25 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. Hay que advertir que esta escala está invertida para indicar que a menor HE mayor sustentabilidad en el sentido fuerte. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 6,76. Sudamérica posee una sustentabilidad media de  $7,27 \pm 1,06$  y la OCDE de  $3,98 \pm 1,31$ . Tanto Sudamérica la OCDE presenta una distribución normal. La prueba F ( $P < 0,05$ ) indica que si existe diferencias significativa. La prueba de Tukey-

Kramer indica que las diferencias significativas está en Sudamérica vs OCDE. No existe diferencias significativas en Chile vs Sudamérica y Chile vs OCDE.

En la figura 25 el valor de 10 equivale a un consumo nulo de recursos naturales. Como se aprecia en la figura 25, la escala estandarizada está invertida respecto a la gráfica de escala original. Por esto la OCDE al poseer mayor consumo de naturaleza está peor posicionado en la escala estandarizada. Sudamérica está más próxima al objetivo de 10. El consumo de Uruguay está fuera de la media de Sudamérica, superando a Chile además. Chile aún está más próximo a Sudamerica respecto al consumo de recursos. EEUU y Dinamarca son los mayores consumidores siendo los más distantes del objetivo de 10 en la figura 25.



**Figura 26.** Comparación Chile en escala original HC per cápita 2008



**Figura 27.** Comparación Chile en escala HC per cápita 2008 estandarizada entre 0 y 10.

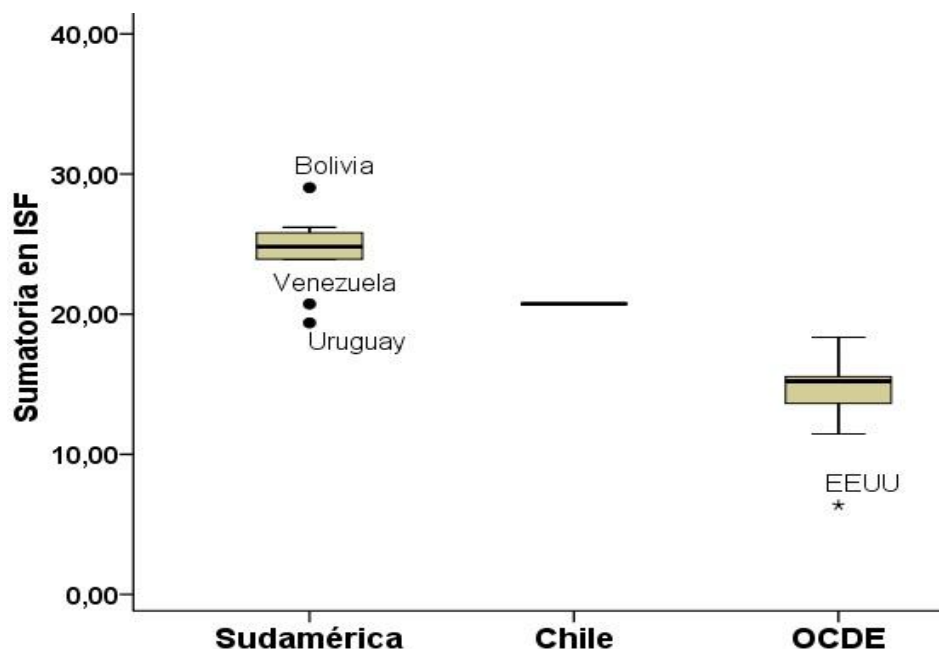
La figura 26 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la escala original de la Huella de Carbono 2008. La figura 27 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE en la escala estandarizada. Hay que advertir que esta escala esta invertida para indicar que a menor HC mayor sustentabilidad en el sentido fuerte. En esta escala Chile posee una sustentabilidad de 7,83. Sudamérica posee una sustentabilidad media de  $8,88 \pm 0,77$  y la OCDE de  $5,23 \pm 1,97$ . Tanto los grupos de Sudamérica y la OCDE presentan distribución normal. La prueba F

( $P < 0,05$ ) indica que si existen diferencias significativas. La prueba de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas están en Sudamérica vs OCDE. No existe diferencia significativas en Chile vs Sudamérica y Chile vs OCDE.

En la figura 27 el valor de 10 equivale a cero emisiones de gases efecto invernadero. Como se aprecia, la escala estandarizada está invertida respecto a la gráfica de escala original, por esto la OCDE al poseer mayor emisión de gases invernadero está peor ubicada, indicando menor sustentabilidad en este índice. Como muestra la figura 27. También se aprecia como los países de Sudamérica poseen similares emisiones a excepción de Argentina y Venezuela que se alejan de la media de Sudamérica. EEUU es el más alejado del objetivo de 10 por ser el mayor emisor de gases invernadero per cápita, en cambio Suecia está por debajo de la media de emisión característica de los países de la OCDE.

### 5.3.4.2. GRÁFICA DE CAJAS (4 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

#### Comparación medias entre Sudamérica, Chile y la OCDE



**Figura 28.** Comparación sustentabilidad media fuerte entre Chile, Sudamérica y la OCDE

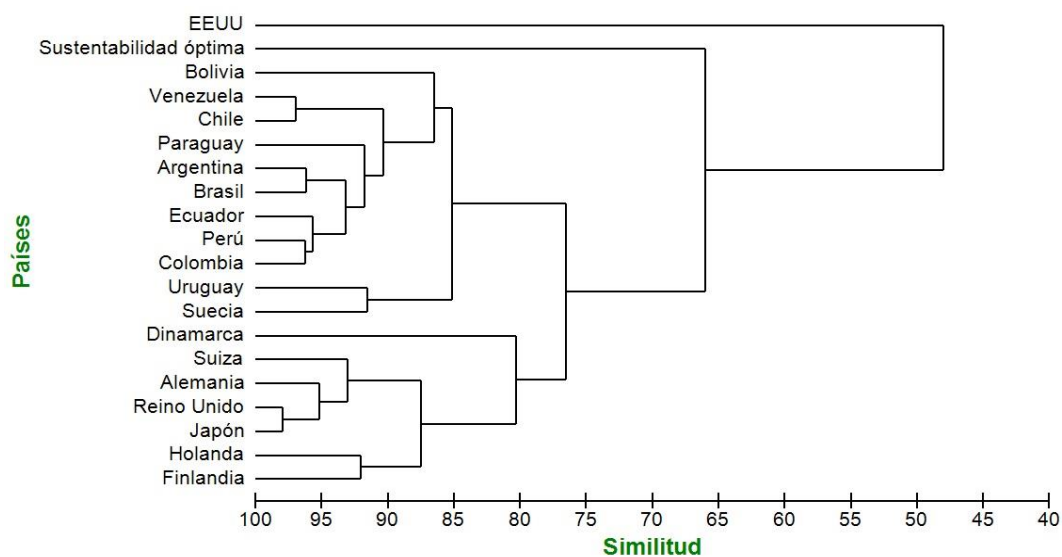
La figura 28 muestra la posición relativa de la sumatoria de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE. La calificación máxima posible corresponde a 40. Chile obtiene una suma de 20,74. Sudamérica obtiene una suma media de  $24,35 \pm 2,89$  y la OCDE una suma media de  $14,25 \pm 3,54$ . La prueba F indica que si existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). La prueba de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) solo están entre Sudamérica vs OCE. No hay diferencias significativas entre Chile vs Sudamérica y Chile vs OCDE.

Desde una perspectiva global de sustentabilidad fuerte, considerando los 4 índices simultáneamente, el grupo de la OCDE es el más distante al objetivo de sustentabilidad. Destaca EEUU que acumula menos de 10 puntos de un total de 40 logrando el peor desempeño, alejándose incluso de su grupo. Las menores emisiones de gases invernadero, la menor dependencia ecológica externa y menor consumo de recursos renovables posicionan a Bolivia como el país más próximo al objetivo de sustentabilidad fuerte. En el grupo de

Sudamérica Venezuela y Uruguay logran los peores resultados como muestra la figura 28. Chile aparece en una posición media entre Sudamérica y la OCDE mostrando características de ambos grupos.

### 5.3.4.3. GRÁFICA DE SIMILUD MÉTODO BRAY CURTIS (4 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

Las gráficas en la figura 29 y 30 detallan la similitud entre países considerando los 4 índices simultáneamente, que no es posible determinar considerando cada índice individualmente: Independencia ecológica (IND-HE), índice planeta feliz (IPF), consumo huella ecológica per cápita (HE) y emisiones de gases efecto invernadero (HC). La figura 30 a diferencia del dendograma tradicional de la figura 29, permite conocer la distancia de cada país respecto a la sustentabilidad óptima fuerte. Ambas son complementarias.

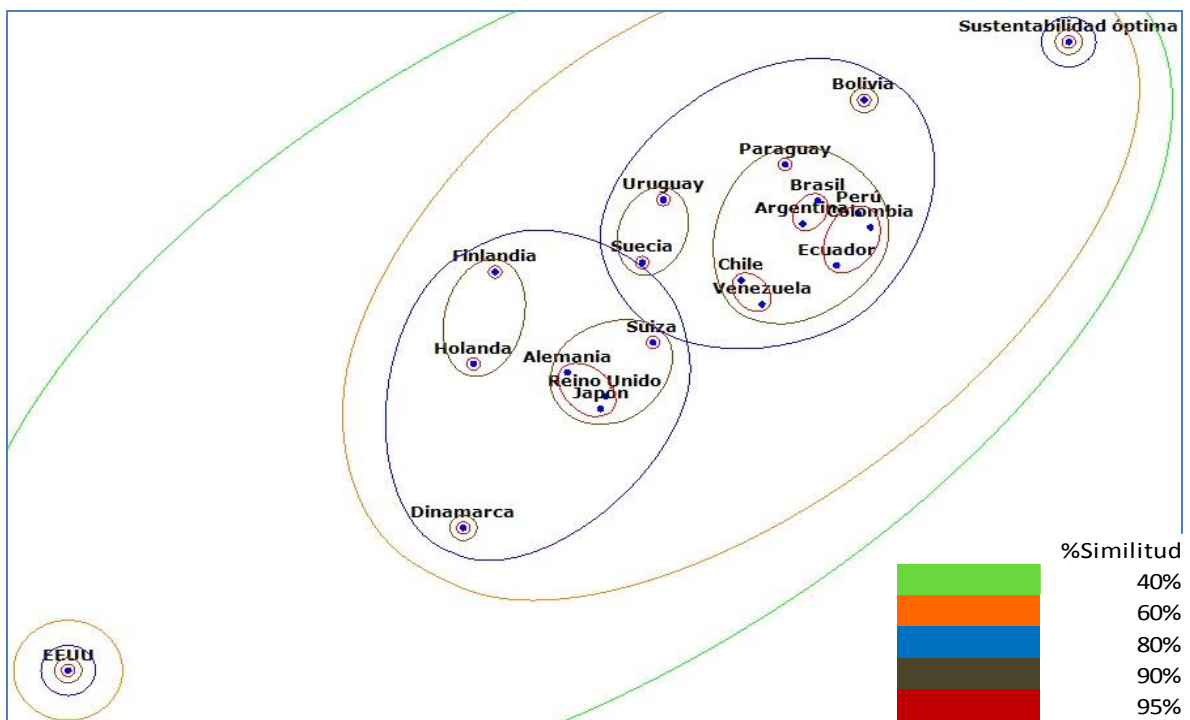


**Figura 29.** Dendograma de Similitud Bray Curtis en sustentabilidad fuerte.

La figura 29 muestra el dendograma de similitud Bray Curtis para los países en estudio. Antes de realizar un corte en un 47% todos los países forman un único clúster ósea que todos poseen al menos una similitud de un 47%. Al realizar un corte en un 48% de similitud aparecen las primeras diferencias y se forma dos clúster: un clúster que agrupan a los países de Sudamérica, el clúster de “sustentabilidad óptima”, Chile y los países de la OCDE, excepto EEUU. El otro clúster corresponde solo a EEUU. Al realizar un corte en un

50% de similitud en donde forman 2 clúster. Un clúster que corresponde a EEUU que se aleja del otro clúster correspondiente al resto de países. Al realizar un corte en un 70% de similitud se desprende el clúster de “sustentabilidad óptima” del resto de países que aún se ubican en un único clúster. Solo cuando se realiza un corte en un 80% de similitud se forman los clúster de Sudamérica y la OCDE de forma independiente. Al realizar un corte en un 95% se forman clúster más específicos formándose 14 clúster.

Una observación interesante es Suecia que se ubica en el clúster de Sudamérica en vez de ubicarse en la OCDE. Esto indica que Suecia a pesar de pertenecer a la OCDE guarda mayor similitud con Sudamérica al considerar los 4 índices de índices de sustentabilidad Fuerte simultáneamente. Chile posee mayor similitud con Venezuela indicando similar grado de presión ambiental.



**Figura 30.** Gráfica espacial de Similitud Bray Curtis en sustentabilidad fuerte.

La figura 30 muestra los países según su distancia respecto al objetivo de sustentabilidad fuerte óptima. El cluster más grande de color verde señala un 40 % de similitud englobando a todos los países, esto indica que comparten al menos un 40% de similitud. Luego surgen dos clúster color naranja señalando

un 60% de similitud, uno corresponde solo a EEUU. El otro corresponde al resto de países. Después surgen los clúster color azul señalando un 80% que corresponden a EEUU, Sudamérica, la OCDE y la “sustentabilidad óptima”. Luego están los clúster color café y rojo que señalan un 90% y un 95% de similitud respectivamente.

Bolivia está más próxima al objetivo. Destaca Suecia que aparece más próximo a Sudamérica. Chile es más similar a Venezuela. En el grupo de Sudamérica Uruguay y Bolivia son más distantes al grupo. Uruguay por ser el menos sustentable y Bolivia por presentar, por lejos, la mayor sustentabilidad. En el grupo de la OCDE el menos sustentables EEUU, quien presenta patrones de consumo de naturaleza superiores a la media de la OCDE.

#### **5.3.4.4. DISCUSIÓN RESULTADOS DESDE LA PERSPECTIVA DE LA SUSTENTABILIDAD FUERTE.**

Las diferencias significativas entre Sudamérica y la OCDE están en el índice de independencia ecológica (IND-HE) donde la OCDE posee casi una nula independencia, en otras palabras, una gran dependencia ecológica con el exterior. En las emisiones de gases invernadero (HC) la OCDE emite más del doble per cápita que Sudamérica. En la huella ecológica (HE) la diferencia es menor pero significativa. En el índice de planeta feliz (IPF) se presentan las menores diferencias.

Sudamérica en relación a la OCDE muestra mejor desempeño en todos los índices indicando mayor sustentabilidad en el sentido fuerte. Los resultados muestran que Chile a pesar de pertenecer a la OCDE, posee mayor similitud con Sudamérica. Sin embargo, la tendencia de Chile es a perder sustentabilidad en el sentido fuerte. No solo Chile, sino todos los países en general. Todas las políticas de desarrollo actuales apuntan en la dirección opuesta a los objetivos de sustentabilidad fuerte. Desde la posición fuerte, en acuerdo con Kerschner (2010) las formas de gobierno actuales, ya sea de planificación central o libre mercado son indiferentes para los objetivos de sustentabilidad fuerte ya que se basan en acumulación de bienes de capital. Una alternativa estaría en la escuela de decrecimiento económico o economía de estado estacionario como se propone en Latouche (2008) y Kallis (2011). Ambas escuelas poseen políticas que apuntan en la dirección de los objetivos de sustentabilidad fuerte, en oposición a las políticas actuales. Pero es poco probable que algún gobierno en el futuro cercano, presente una agenda de decrecimiento económico o economía de estado estacionario.

La OCDE no puede ser sustentable en los índices de sustentabilidad fuerte ya que estos índices acusan su aparente bienestar social, ambiental y económico, artificial e insostenible, fundamentado en el consumo de recursos comunes globales, internalizando los beneficios y socializando los costos a nivel global.



Considerando la huella ecológica como la medida de consumo global de recursos naturales comunes, la manera de lograr la sustentabilidad fuerte debería ser que el consumo global decrezca hasta igualar la capacidad de renovación de estos como señalan Ewing *et al.*, (2010). Para esto cada país de la OCDE y Sudamérica debería reducir su huella ecológica hasta coincidir con su respectiva capacidad de carga o biocapacidad territorial. Tal condición por si sola ya sería suficiente, sin embargo no es suficiente si se añade un criterio de equidad social, debido a las grandes diferencias de biocapacidad entre países, por ejemplo entre la biocapacidad de un país tropical versus la pobre biocapacidad de algún país desértico. Para el 2003 como describe Moran *et al.*, (2008) y Ewing *et al.*, (2010) se determinó que lo justo era que cada habitante del mundo, no consuma más de 1,8 gha/cápita, independiente de la biocapacidad de su región. Los resultados muestran que en este sentido solo Ecuador, Perú y Colombia cumplen esta condición.

En el índice de planeta feliz (IPF), EEUU y Dinamarca son los menos sustentables, por poseer la menor eficiencia para producir una “unidad de felicidad” en su población por unidad naturaleza consumida. Estos países son quienes requieren consumir más recursos naturales globales para producir una “unidad de felicidad”. Un ejemplo de sustentabilidad en esta dimensión es Colombia que ocupa el primer lugar al ser el más eficiente, ya que consume solo un cuarto de la huella ecológica que requiere EEUU para producir una “unidad de felicidad”. Este índice refuerza la tesis central de la sustentabilidad fuerte, que el consumo de recursos y la riqueza económica no implica mayor bienestar social. En general Sudamérica es más sustentable al ser más eficiente que la OCDE en la generación de bienestar social en relación al consumo de recursos naturales, sin embargo se espera que en el futuro pierdan sustentabilidad ya que no existen indicios de propuestas políticas para iniciar procesos de decrecimiento económico.

En el índice de independencia ecológica (IND-HE) Sudamérica es más sustentable que la OCDE, destacando Bolivia que posee una biocapacidad siete veces superior al consumo de recursos naturales de su población.

Venezuela aparece como el país menos sustentable de Sudamérica ya que su consumo de recursos está al límite de su biocapacidad local.

En la OCDE, Japón, Holanda y Suiza poseen un consumo de recursos globales cinco veces superior a su biocapacidad local, posicionándose como los países menos independientes. Esto implica que tales países son acumuladores netos de huella ecológica, o sea que importan más huella ecológica de la que exportan en el comercio internacional mediante intercambios ecológicamente desiguales. Por ejemplo Japón que reside en una isla de baja fertilidad es un centro de convergencia de huella ecológica global obtenida de países periféricos. Por otra parte, si la OCDE recibe más huella ecológica que la entregada, los países periféricos como los de Sudamérica estarían entregando más huella ecológica de la que recibe durante los intercambios comerciales. Este hecho se aborda en los trabajos de Jiang, *et al.*, (2008) y Odum (1996) respecto a los intercambios de la cantidad de naturaleza (medido en energía) contenida en las exportaciones de los países. Para complementar se sugiere revisar la figura 70 en anexos, que muestra las diferencias de huella ecológica en un intercambio comercial de US\$ 10'000 entre Bolivia y Suiza.

A partir de los resultados, desde la perspectiva de la sustentabilidad fuerte los países de la OCDE estarían externalizando costos ambientales a otros países, ya que el impacto ambiental de los productos que consumen, ha ocurrido en otros continentes como América y Asia donde ocurren las extracciones y procesamiento intensivo de recursos naturales. Por lo tanto, considerando los resultados de huella ecológica, la curva ambiental de Kuznets defendida por la sustentabilidad débil está sesgada ya las presiones ambiental no disminuyen con el crecimiento económico, solo se trasladan a otros países como acusa De Groot & Gómez-Baggethun (2007). Por ejemplo Suiza y Japón importan bienes de gran valor añadido, pero dicho valor añadido implica costos ambientales que la población de Suiza no internaliza ya que tales costos son internalizados por las regiones donde se extraen los recursos naturales. Una excepción a la regla en la OCDE es Finlandia y Suecia que a diferencia del resto de la OCDE, poseen enormes territorio ricos en recursos naturales y una baja población, permitiendo que su elevado consumo de huella ecológica, no

supere la capacidad de carga local, convirtiéndose ambos, en los países más independientes ecológicamente en el grupo de la OCDE.

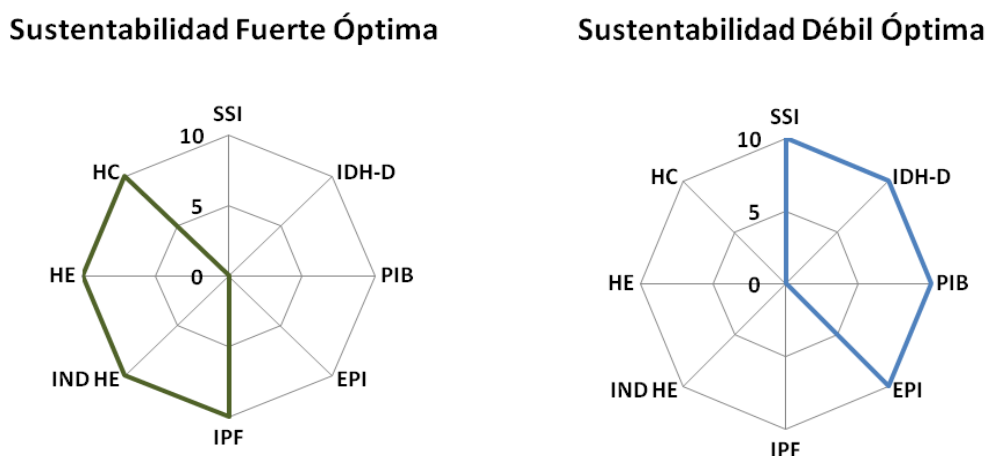
Cabe advertir que los resultados entregados acusan el impacto ambiental de los países solo en términos per cápita y no el impacto ambiental total del país como un todo. Por ejemplo, una comparación en términos per cápita diría que Uruguay consume tres veces más que Colombia, pero una comparación de los países como un todo diría que Uruguay impacta menos que Colombia al ser un país con poca población. Si se pone el foco en los países como un todo, las cosas cambian. Otro caso más ejemplar sería el de Brasil versus Dinamarca. Dinamarca en términos per cápita consume tres veces más huella ecológica que Brasil, pero Brasil como un todo, es mucho más contaminador al poseer una población 40 veces superior. La misma situación ocurre en el índice de huella de carbono (HC) donde Dinamarca emite cuatro veces más gases invernadero por habitante que Brasil, sin embargo Brasil posee una población 40 veces superior. Por esta razón, los índices en términos per cápita pueden llevar a la confusión a la hora de atribuir responsabilidades. A conclusiones similares llegaron Wilson *et al.*, (2007) al comparar países con índices de sustentabilidad.

Considerando a los 4 ISF. Bolivia es el país más próximo a los objetivos de la sustentabilidad fuerte. En Sudamérica, Venezuela y Uruguay son los países menos sustentables. En especial Venezuela que presenta las mayores emisiones de gases invernadero por ser país petrolero. Un caso especial de la OCDE es Suecia que posee mayor similitud a Sudamérica como muestra el análisis de similitud en las figuras 29. Además es el país más sustentable de la OCDE en el sentido fuerte. EEUU es el país menos sustentable por lejos, aislandose y formando un grupo aparte de la OCDE y Sudamérica.

Finalmente, desde la posición fuerte, el panorama global no es alentador, ya que los países de Sudamérica, no muestran intenciones de decrecimiento en su consumo de recursos naturales. Esto queda patente al advertir que todos los programas de gobiernos apuntan a un mayor crecimiento económico, algunos dando más énfasis a la igualdad social, otros a la libertad económica, pero crecimiento al fin y al cabo.

### 5.3.5. COMPARACIÓN DESDE LA DESDE LA PERSPECTIVA “SUSTENTABILIDAD IDEAL”

Como muestra la figura 31, la perspectiva de la “sustentabilidad ideal” corresponde al caso hipotético de lograr simultáneamente la sustentabilidad fuerte óptima y débil óptima, ósea una calificación de 10 en los 8 índices. Como propone la teoría, ambas no pueden alcanzarse de forma simultánea, y por lo tanto para asignar la categoría de sustentable a un país previamente debería asumirse los criterios de una u otra corriente de sustentabilidad. En esta parte del trabajo se evalúa los países desde la perspectiva de la “sustentabilidad ideal” y comprobar si surge la imposibilidad descrita teóricamente



**Figura 31.** Representación de sustentabilidad fuerte y débil óptima.

A continuación se muestra los valores óptimos y nulos en cada índice para esta “sustentabilidad ideal” Los valores se obtuvieron de la tabla estandarizada donde todos los índices están entre 0 y 10 lo que permite compararlos entre si.

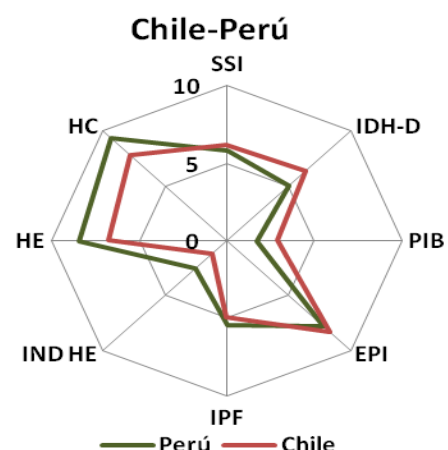
**Tabla N° 10.** Asignación de valores de sustentabilidad nula y óptima para índices bajo criterio de la sustentabilidad débil y fuerte.

	Sustentabilidad Nula (0)	Sustentabilidad óptima (10)
Índices Sustentabilidad Débil		
SSI	puntaje 0	puntaje 10
IDH-D	puntaje 0	puntaje 1
PIB	\$ 0/cápita	\$50'000/cápita
EPI	puntaje 0	puntaje 100
Índices Sustentabilidad Fuerte		
IPF	puntaje 0	puntaje 100
IND HE	gha renovable local/gha consumo igual a 0	gha renovable local/gha consumo igual a 8
HE	10 gha/cápita	0 gha/cápita
HC	20 TnCo2/ cápita	0 TnCo2/cápita



**Tabla N° 11.** Valores originales y estandarizados Chile – Perú.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Perú	Chile	Perú
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	1,21	7,83	9,4
HE (gha per cápita)	3,24	1,54	6,76	8,46
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	2,5	1,18	2,51
IPF (puntaje ranking)	49,7	54,4	4,97	5,44
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI(puntaje ranking)	83,4	78,1	8,34	7,81
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	8596	2,909	1,715
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,501	6,34	5,01
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,83	6,17	5,83



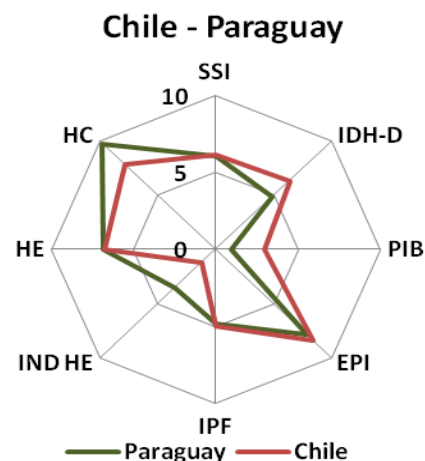
**Figura 33.** Comparación Chile-Perú en 8 índices simultáneamente.

La figura 33 muestra la sustentabilidad de Perú respecto a Chile. El área total de la gráfica equivale a la “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representada por la área total de la gráfica, Perú obtiene una puntuación de 46,18 y un 55,90% pertenece a los ISF y un 44,10% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD. Un punto destacable de Perú es que posee la HE más baja de Sudamérica siendo el país con menor consumo de recursos naturales.

En relación a Chile, Perú es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. La mayor diferencia está en la HE donde Perú posee el consumo más bajo de recursos por habitante. Por otra parte la Intensidad de Huella Ecológica de Perú es de 1,80 gha/\$10000 respecto a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando que Perú es más eficiente que Chile en la transformación de riqueza natural a riqueza económica.

**Tabla N° 13.** Valores originales y estandarizados Chile – Paraguay.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Paraguay	Chile	Paraguay
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	0,59	7,83	9,71
HE (gha per cápita)	3,24	3,19	6,76	6,81
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	3,571	1,18	3,52
IPF (puntaje ranking)	49,7	47,8	4,97	4,78
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	77,7	8,34	7,77
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	4744	2,909	0,949
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,482	6,34	4,82
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,11	6,17	6,11



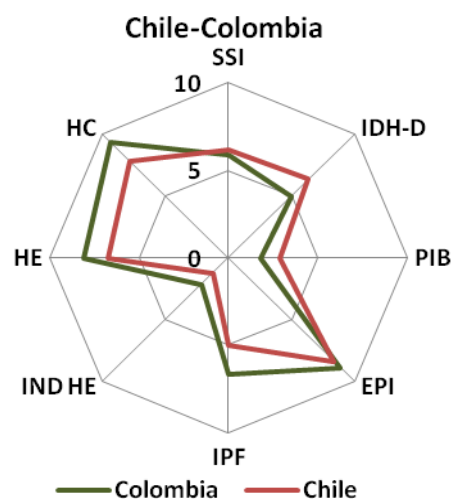
**Figura 34.** Comparación Chile-Paraguay en 8 índices simultáneamente.

La figura 34 muestra la sustentabilidad de Paraguay respecto a Chile. El área total de la grafica equivale a la “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representada por la área total de la gráfica, Paraguay obtiene una puntuación de 44,47 y un 55,80% pertenece a los ISF y un 44,20% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD. Un punto destacable de Paraguay es que posee la HC más baja de Sudamérica indicando menores emisiones de gases invernadero por persona.

En relación a Chile, Paraguay es más sustentable en sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. Por otra parte, a pesar de tener HE per cápita similares, Paraguay tiene una intensidad de HE de 6,72 gha/\$10000 en relación a los 2,22 gha/\$10000 de Chile. Esto indica que Paraguay es menos eficiente que Chile ya que requiere consumir más huella ecológica para producir \$10000. En el EPI y SSI son países similares pero en el IDH-D y PIB Chile es superior.

**Tabla N° 14.** Valores reales y estandarizados Chile – Colombia.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Colombia	Chile	Colombia
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	1,35	7,83	9,33
HE (gha per cápita)	3,24	1,87	6,76	8,13
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	2,128	1,18	2,13
IPF (puntaje ranking)	49,7	66,1	4,97	6,61
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	88,3	8,34	8,83
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	8938	2,909	1,786
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,492	6,34	4,92
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,88	6,17	5,88



**Figura 35.** Comparación Chile-Colombia en 8 índices simultáneamente.

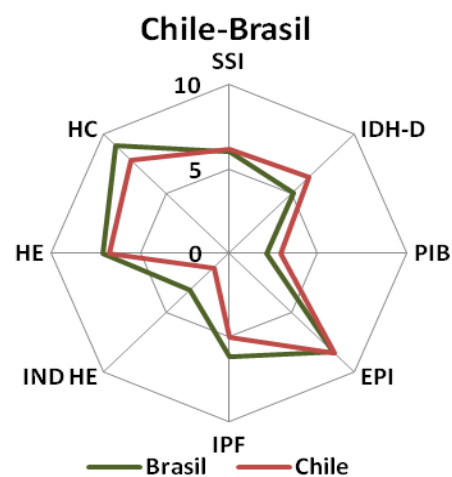
La figura 35 muestra la sustentabilidad de Colombia respecto a Chile. El área total de la gráfica equivale a la “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Colombia obtiene una puntuación de 47,62 y un 55% pertenece a los ISF y un 45% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD. Un punto interesante de Colombia es que posee la mejor evaluación en el IPF de Sudamérica, superando además a la OCDE. Esto indica que la relación felicidad/consumo es superior a todos los países analizados.

En relación a Chile, Colombia es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. La mayor diferencia está en la HC y EPI. Por otra parte Colombia posee una Intensidad de HE de 2,10 gha/\$10000 en relación a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando que es levemente más eficiente.



**Tabla N° 15.** Valores reales y estandarizados Chile – Brasil.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Brasil	Chile	Brasil
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	1,99	7,83	9
HE (gha per cápita)	3,24	2,91	6,76	7,09
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	3,125	1,18	3,09
IPF (puntaje ranking)	49,7	61	4,97	6,1
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	82,7	8,34	8,27
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	10434	2,909	2,087
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,509	6,34	5,09
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,99	6,17	5,99



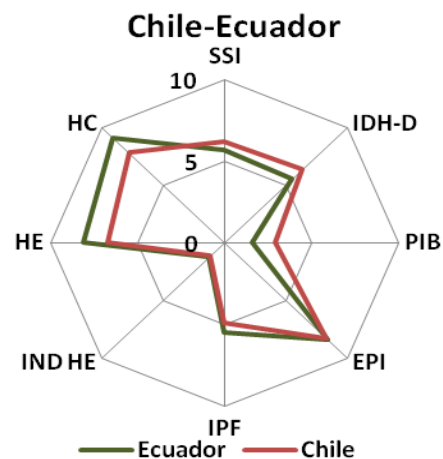
**Figura 36.** Comparación Chile-Brasil en 8 índices simultáneamente

La figura 36 muestra la sustentabilidad de Brasil respecto a Chile. El área total de la gráfica equivale a la “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Brasil obtiene una puntuación de 46,72 y 54,20% pertenece a los ISF y un 45,80% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD. Un punto destacable de Brasil es su alta IND-HE indicando que la gran disponibilidad de recursos naturales renovables supera tres veces el consumo de recursos por habitante.

En relación a Chile, Brasil es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. Su ventaja en el sentido fuerte viene dado por sus bajas emisiones de gases invernadero por habitante y su mayor IND-HE. La Intensidad de Huella Ecológica de Brasil es de 2,80 gha/\$10000 en relación a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando que requiere más riqueza natural para generar una unidad de riqueza económica. En línea con lo anterior, Brasil a pesar de tener menor huella ecológica y emisiones de gases invernadero por habitante y ser más independiente, requiere de mayor riqueza natural para generar riqueza económica.

**Tabla N° 16.** Valores reales y estandarizados Chile – Ecuador.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Ecuador	Chile	Ecuador
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	1,92	7,83	9,04
HE (gha per cápita)	3,24	1,89	6,76	8,11
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	1,235	1,18	1,23
IPF (puntaje ranking)	49,7	55,5	4,97	5,55
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	84,4	8,34	8,44
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	8250	2,909	1,65
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,554	6,34	5,54
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,63	6,17	5,63



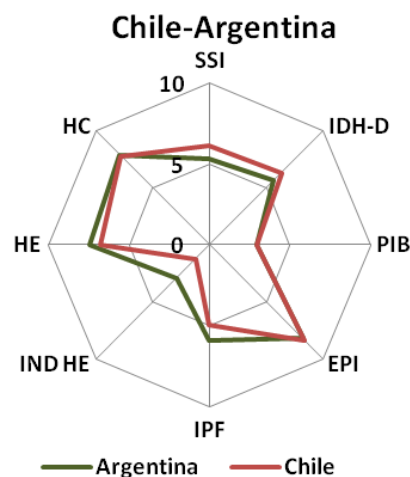
**Figura 37.** Comparación Chile-Ecuador en 8 índices simultáneamente

La figura 37 muestra la sustentabilidad de Ecuador respecto a Chile. El área total de la grafica equivale a la “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Ecuador obtiene una puntuación de 45,19 y un 53% pertenece a los ISF y un 47% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Ecuador es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. Su ventaja en el sentido fuerte viene dado por su menor huella ecológica y menor emisión de gases invernadero por habitante. La intensidad de Huella Ecológica de Ecuador es de 2,29 gha/\$10000, superior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando menor eficiencia que Chile en la transformación de riqueza natural a riqueza económica.

**Tabla N° 17.** Valores reales y estandarizados Chile – Argentina.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Argent	Chile	Argent
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	4,36	7,83	7,82
HE (gha per cápita)	3,24	2,6	6,76	7,4
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	2,857	1,18	2,88
IPF (puntaje ranking)	49,7	59	4,97	5,9
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	81,8	8,34	8,18
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	14426	2,909	2,885
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,562	6,34	5,62
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,34	6,17	5,34



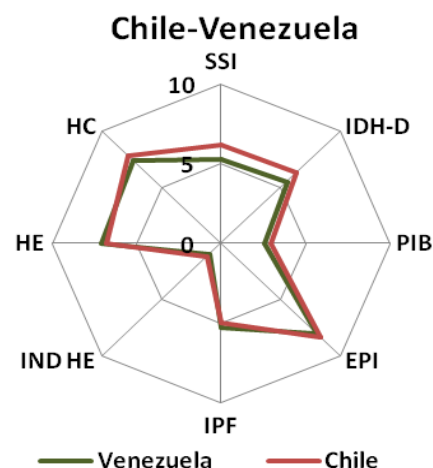
**Figura 38.** Comparación Chile-Argentina en 8 índices simultáneamente

La figura 38 muestra la sustentabilidad de Argentina respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Argentina obtiene una puntuación de 46,03 y un 52,10% pertenece a los ISF y un 47,90% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Argentina es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. Su ventaja en el sentido fuerte viene dado por su mayor IND-HE indicando mayor independencia ecológica. En los demás índices Argentina y Chile son relativamente similares. La intensidad de Huella Ecológica de Argentina es de 1,8gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando mayor eficiencia que Chile al momento de transformar riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N°18.** Valores reales y estandarizados Chile – Venezuela.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Venez	Chile	Venez
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	5,21	7,83	7,4
HE (gha per cápita)	3,24	2,89	6,76	7,11
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,971	1,18	0,97
IPF (puntaje ranking)	49,7	52,5	4,97	5,25
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	80	8,34	8
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	12829	2,909	2,566
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,549	6,34	5,49
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,3	6,17	5,3



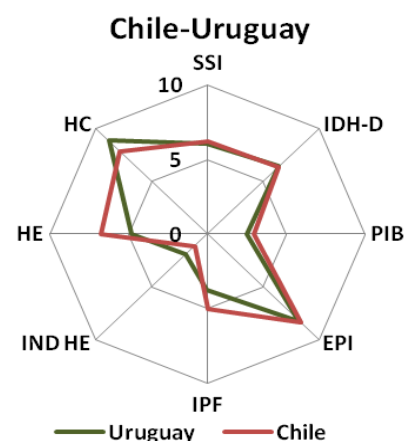
**Figura 39.** Comparación Chile-Venezuela en 8 índices simultáneamente

La figura 39 muestra la sustentabilidad de Venezuela respecto a Chile. El área total de la grafica equivale a la “sustentabilidad óptima” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Venezuela obtiene una puntuación de 42,09 y un 49,30% pertenece a los ISF y un 50,70% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Venezuela es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. La mayor diferencia está en el SSI donde Venezuela es menos sustentable. En relación a los demás índices Venezuela y Chile son similares. La intensidad de huella ecológica de Venezuela es de 2,25 gha/\$10000 superior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile indicando que necesita transformar más riqueza natural para obtener una unidad de riqueza económica.

**Tabla N° 19.** Valores reales y estandarizados Chile – Uruguay.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Uruguay	Chile	Uruguay
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	2,29	7,83	8,86
HE (gha per cápita)	3,24	5,13	6,76	4,87
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	1,923	1,18	1,93
IPF (puntaje ranking)	49,7	37,2	4,97	3,72
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	82,3	8,34	8,23
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	12748	2,909	2,55
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,642	6,34	6,42
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,05	6,17	6,05



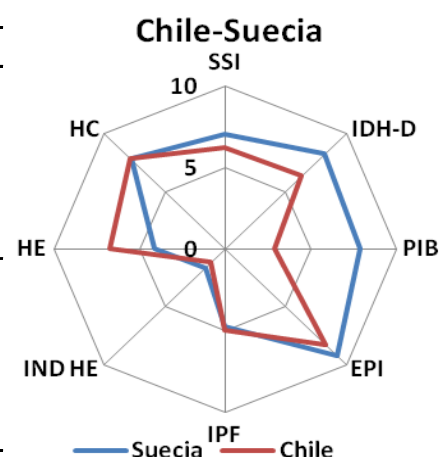
**Figura 40.** Comparación Chile-Uruguay en 8 índices simultáneamente

La figura 40 muestra la sustentabilidad de Uruguay respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Uruguay obtiene una puntuación de 42,63 y un 45,50 % pertenece a los ISF y un 54,50% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Uruguay es más sustentable en el sentido fuerte y menos sustentable en el sentido débil. La mayor diferencia está en la HE donde Uruguay posee un mayor consumo de huella ecológica por habitante que Chile y que todo Sudamérica. Sin embargo se debe advertir que el mayor consumo por habitante de Uruguay no implica un mayor impacto como un todo, ya que posee una población inferior a Chile. La intensidad de huella ecológica de Uruguay es de 4,02 gha/\$10000, superior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile indicando que necesita consumir casi el doble de riqueza natural que Chile para producir una unidad de riqueza económica.

**Tabla N° 20.** Valores reales y estandarizados Chile – Suecia.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Suecia	Chile	Suecia
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	4,96	7,83	7,77
HE (gha per cápita)	3,24	5,88	6,76	4,12
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	1,667	1,18	1,66
IPF (puntaje ranking)	49,7	48	4,97	4,8
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	93,1	8,34	9,31
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	39541	2,909	7,908
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,824	6,34	8,24
SSI (puntaje ranking)	6,17	7,02	6,17	7,02



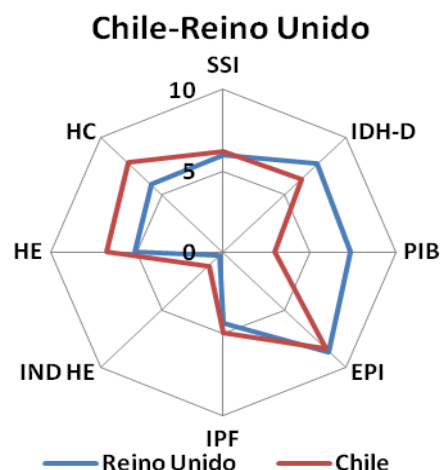
**Figura 41.** Comparación Chile-Suecia en 8 índices simultáneamente

La figura 41 muestra la sustentabilidad de Suecia respecto a Chile. El área total de la gráfica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica Suecia obtiene una puntuación de 50,82 y 36,10 % pertenece a los ISF y un 63,90% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Suecia es menos sustentable en sentido fuerte y más sustentable en el sentido débil. Su menor sustentabilidad en el sentido fuerte respecto a Chile está en la HE donde Suecia consume casi el doble de riqueza natural, sin embargo este consumo de riqueza natural se ve compensado en los ISD en donde Suecia posee una mayor calidad ambiental local EPI. La intensidad de huella ecológica de Suecia es de 1,48gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando ser más eficiente que Chile al momento de transformar riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N° 21.** Valores reales y estandarizados Chile – Reino Unido.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	R.U.	Chile	R.U.
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	8,34	7,83	5,83
HE (gha per cápita)	3,24	4,89	6,76	5,11
IND HE(Biocab/HE/ cápita)	1,19	0,273	1,18	0,27
IPF (puntaje ranking)	49,7	43,3	4,97	4,33
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	86,3	8,34	8,63
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	36844	2,909	7,377
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,766	6,34	7,66
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,93	6,17	5,93



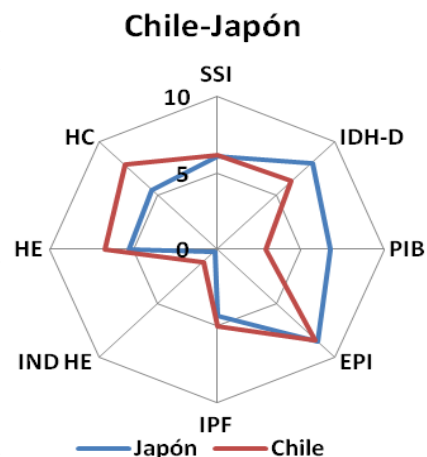
**Figura 42.** Comparación Chile-Reino Unido en 8 índices simultáneamente

La figura 42 muestra la sustentabilidad de Reino Unido respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Reino Unido obtiene una puntuación de 45,14 y un 34,42 % pertenece a los ISF y un 65,57% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Reino Unido es menos sustentable en el sentido fuerte y más sustentable en el sentido débil. La mayor sustentabilidad en el sentido débil viene dado por la mayor PIB PPA per cápita, o sea mayor presencia de bienes de capital. La intensidad de huella ecológica de Reino Unido es de 1,33gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando que necesita transformar menos riqueza natural para producir riqueza económica.

**Tabla N° 22.** Valores reales y estandarizados Chile - Japón.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Japón	Chile	Japón
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	9,02	7,83	5,49
HE (gha per cápita)	3,24	4,73	6,76	5,27
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,13	1,18	0,13
IPF (puntaje ranking)	49,7	43,3	4,97	4,33
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	84,5	8,34	8,45
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	33871	2,909	6,77
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,806	6,34	8,06
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,12	6,17	6,12



**Figura 43.** Comparación Chile-Japón en 8 índices simultáneamente

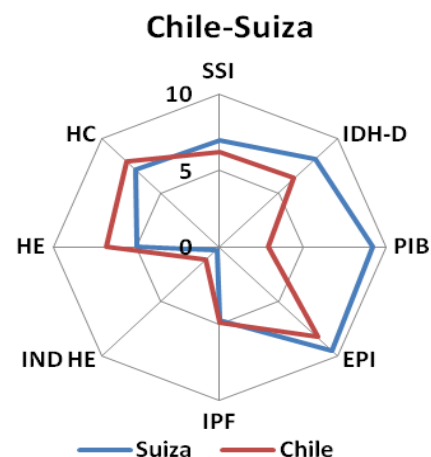
La figura 43 muestra la sustentabilidad de Japón respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Japón obtiene una puntuación de 44,62 y un 34,11 % pertenece a los ISF y un 65,89% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD. Japón en el índice de IND-HE está en el centro, indicando una alta dependencia ecológica, o sea que es un importador neto de Huella Ecológica.

En relación a Chile, Japón es menos sustentable en el sentido fuerte y más sustentable en el sentido débil. Su baja sustentabilidad en el sentido fuerte, además de su baja IND-HE, es su HC que indica que Japón tiene el doble de emisiones de gases invernadero por habitante. La intensidad de huella ecológica de Japón es de 1,34 gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando ser más eficiente en la transformación de riqueza natural en riqueza económica.



**Tabla N° 23.** Valores reales y estandarizados Chile – Suiza.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Suiza	Chile	Suiza
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	5,67	7,83	7,17
HE (gha per cápita)	3,24	5,02	6,76	4,98
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,247	1,18	0,25
IPF (puntaje ranking)	49,7	48,1	4,97	4,81
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	95,5	8,34	9,55
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	45893	2,909	9,179
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,803	6,34	8,13
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,96	6,17	6,96



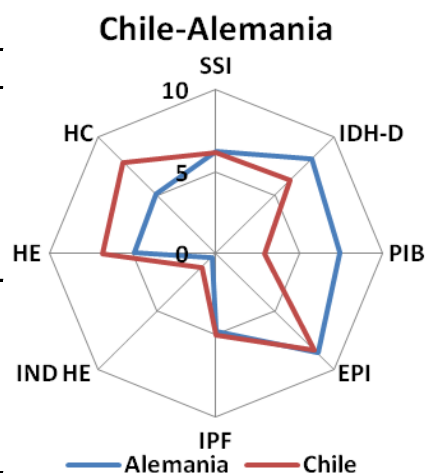
**Figura 44.** Comparación Chile-Suiza en 8 índices simultáneamente

La figura 44 muestra la sustentabilidad de Suiza respecto a Chile. El área total de la gráfica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Suiza obtiene una puntuación de 51,03 y 33,73 % pertenece a los ISF y un 66,27% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Suiza es menos sustentable en el sentido fuerte y más sustentable en el sentido débil. Las mayores diferencias están en la HE donde Suiza consume más riqueza natural por habitante, además su IND-HE está muy próximo a centro de la gráfica indicando una sustentabilidad nula en este índice, o sea una gran dependencia ecológica, en otras palabras es un importador neto de huella ecológica. Por otra parte, estas falencias se compensan en el PIB PPA e IDH-D donde Suiza está próximo a tocar el borde la gráfica, indicando su proximidad a la sustentabilidad óptima presentados en la tabla 9. La intensidad de huella ecológica de Japón es de 1,09 gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, siendo con EEUU los más eficientes en la transformación de riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N° 24.** Valores reales y estandarizado Chile – Alemania.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Alemania	Chile	Alemania
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	9,79	7,83	5,11
HE (gha per cápita)	3,24	5,08	6,76	4,92
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,377	1,18	0,38
IPF (puntaje ranking)	49,7	48,1	4,97	4,81
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	86,3	8,34	8,63
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	37135	2,909	7,427
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,814	6,34	8,14
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,21	6,17	6,21



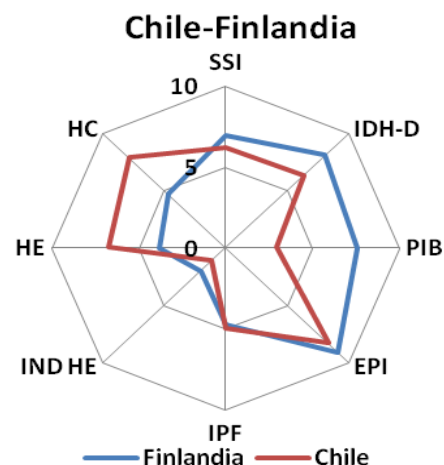
**Figura 45.** Comparación Chile-Alemania en 8 índices simultáneamente

La figura 45 muestra la sustentabilidad de Alemania respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Alemania obtiene una puntuación de 45,627 y un 33,40% pertenece a los ISF y un 66,60% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Alemania es menos sustentable en el sentido fuerte y más sustentable en el sentido débil. La mayor similitud está en el SSI y EPI. En la HC Alemania emite el doble de gases invernadero por habitante y por otra parte posee un PIB PPA por cápita mayor. La intensidad de huella ecológica de Alemania es de 1,36 gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando ser más eficiente en la transformación de riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N° 25.** Valores reales y estandarizados Chile – Finlandia.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Finlandia	Chile	Finlandia
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	10,65	7,83	4,68
HE (gha per cápita)	3,24	6,16	6,76	3,84
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	2,041	1,18	2,02
IPF (puntaje ranking)	49,7	47,2	4,97	4,72
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	91,4	8,34	9,14
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	37795	2,909	7,559
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,806	6,34	8,06
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,93	6,17	6,93



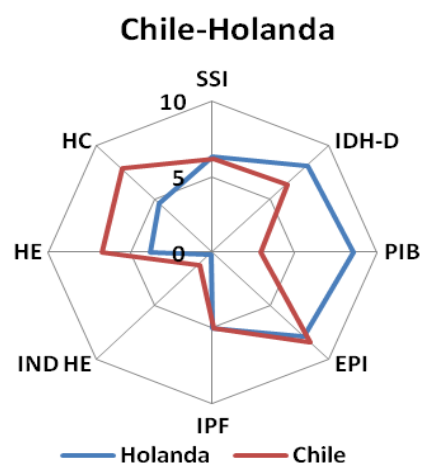
**Figura 46.** Comparación Chile-Finlandia en 8 índices simultáneamente

La figura 46 muestra la sustentabilidad de Finlandia respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Finlandia obtiene una puntuación de 46,95 y un 32,50% pertenece a los ISF y un 67,50% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Finlandia es más sustentable que Chile en los 4 ISD y Chile es más sustentable en los ISF, excepto IND HE en donde Finlandia, posee mayor independencia ecológica a pesar de tener una huella ecológica de 6,16 gha per cápita. En el caso de Finlandia la abundancia de recursos locales se traduce en una gran biocapacidad, tal que puede soportar el doble de consumo actual sin superar la capacidad de carga local. La intensidad de huella ecológica de Finlandia es de 1,63 gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando ser más eficiente en la transformación de riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N° 26.** Valores reales y estandarizados Chile – Holanda.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Holanda	Chile	Holanda
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	10,82	7,83	4,59
HE (gha per cápita)	3,24	6,19	6,76	3,81
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,167	1,18	0,17
IPF (puntaje ranking)	49,7	50,6	4,97	5,06
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	78,7	8,34	7,87
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	42848	2,909	8,57
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,818	6,34	8,18
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,37	6,17	6,37



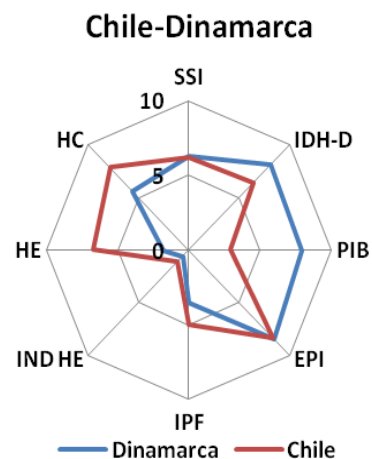
**Figura 47.** Comparación Chile-Holanda en 8 índices simultáneamente

La figura 47 muestra la sustentabilidad de Holanda respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Holanda obtiene una puntuación de 44,62 y un 30,50% pertenece a los ISF y un 69,50% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile es menos sustentable en los 4 ISF. En los ISD, el punto fuerte de Holanda está solo en el PIB per cápita y en IDH-D. En el SSI son muy similares. Hay que destacar el caso de EPI en donde Chile supera a Holanda a pesar de la gran diferencia en el PIB per cápita. La Intensidad de huella ecológica de Holanda es de 1,44 gha/\$10000 inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando ser más eficiente en la transformación de riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N°27.** Valores reales y estandarizados Chile – Dinamarca.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	Dinamar	Chile	Dinamar
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	8,82	7,83	5,59
HE (gha per cápita)	3,24	8,26	6,76	1,74
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,581	1,18	0,58
IPF (puntaje ranking)	49,7	35,5	4,97	3,55
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	84	8,34	8,4
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	39405	2,909	7,881
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,81	6,34	8,1
SSI (puntaje ranking)	6,17	6,29	6,17	6,29



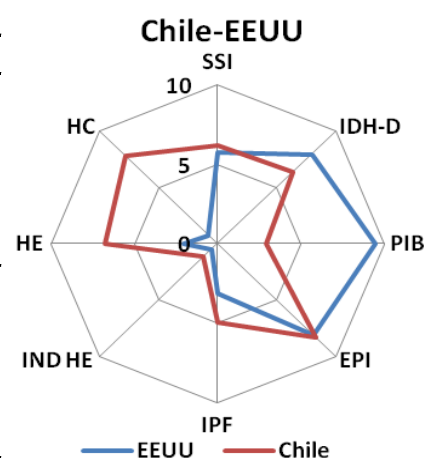
**Figura 48.** Comparación Chile-Dinamarca en 8 índices simultáneamente

La figura 48 muestra la sustentabilidad de Dinamarca respecto a Chile. El área total de la gráfica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, Dinamarca obtiene una puntuación de 42,13 y un 27,10% pertenece a los ISF y un 72,90% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD.

En relación a Chile, Dinamarca es menos sustentable en los 4 ISF. Los ISF de Dinamarca están muy próximos al centro indicando que no es sustentable en el sentido fuerte. Una diferencia destacable está en la HE donde Dinamarca consume 3 veces más riqueza natural por habitante, lo que se refleja por la proximidad de este índice al centro de la gráfica. Del mismo modo el IND-HE está próximo al centro indicando la alta dependencia ecológica, ósea que Dinamarca es un importador neto de huella ecológica. En el EPI son similares indicando que la calidad ambiental local de ambos es similar. La intensidad de huella ecológica de Dinamarca es de 2,1 gha/\$10000 levemente inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, indicando una eficiencia relativamente similar en la transformación de riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N° 28.** Valores reales y estandarizados Chile – E.E.U.U.

	Valor real		Sustentabilidad (0-10)	
	Chile	EEUU	Chile	EEUU
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>				
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	18,38	7,83	0,81
HE (gha per cápita)	3,24	8	6,76	2
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	0,49	1,18	0,49
IPF (puntaje ranking)	49,7	30,7	4,97	3,07
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>				
EPI (puntaje ranking)	83,4	81	8,34	8,1
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	47209	2,909	9,442
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,799	6,34	7,99
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,79	6,17	5,79



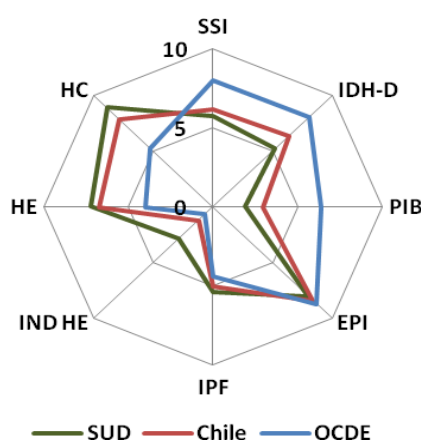
**Figura 49.** Comparación Chile-Estados Unidos en 8 índices simultáneamente

La figura 49 muestra la sustentabilidad de EEUU respecto a Chile. El área total de la grafica equivale al “sustentabilidad ideal” y sirve como marco de referencia para la comparación. De un total de 80 representado por el área total de la gráfica, EEUU obtiene una puntuación de 37,69 y un 16,90% pertenece a los ISF y un 83,10% a los ISD. Chile obtiene una puntuación de 44,50 y un 46,61% pertenece a los ISF y un 53,39% pertenece a los ISD

En relación a Chile, EEUU es menos sustentable en los 4 ISF. Los ISF de EEUU están muy próximos al centro indicando que no es sustentable en el sentido fuerte. En los ISD se destaca que Chile es superior en EPI. La IND HE de EEUU indica que su consumo per cápita de riqueza natural dobla la biocapacidad local. A pesar del elevado consumo de huella ecológica per cápita, EEUU posee la mejor Intensidad de HE con un 1,1 gha/\$10000, inferior a los 2,22 gha/\$10000 de Chile, siendo junto a Suiza, los más eficientes para transformar riqueza natural en riqueza económica.

**Tabla N° 29.** Valores medios originales y estandarizados de los índices de sustentabilidad para Chile, Sudamérica y la OCDE

	Valor real			Sustentabilidad (0-10)		
	Chile	Sudamérica	OCDE	Chile	Sudamérica	OCDE
<b>Índices de Sustentabilidad Fuerte</b>						
HC (TnCo2 per cápita)	4,35	2,25	9,61	7,83	8,88	5,22
HE (gha per cápita)	3,24	2,73	6,02	6,76	7,27	3,97
IND HE(Biocap/HE/ cápita)	1,19	2,282	0,664	1,18	2,843	0,661
IPF (puntaje ranking)	49,7	53,6	43,9	4,97	5,36	4,39
<b>Índice de Sustentabilidad Débil</b>						
EPI (puntaje ranking)	83,4	80	86,8	8,34	8	8,68
PIB (\$ PPA per cápita)	14543	9472	40062	2,909	1,894	8,012
IDH-D (puntaje ranking)	0,634	0,521	0,806	6,34	5,21	8,06
SSI (puntaje ranking)	6,17	5,74	6,4	6,17	5,74	6,4



**Figura 50.** Comparación Chile con la media de Sudamérica y la OCDE.

La figura 50 muestra la comparación de Chile con la media de la OCDE y la media de Sudamérica. El área total de la gráfica representa la “sustentabilidad ideal” presentada como la situación hipotética de un país con valores óptimo de sustentabilidad 10 en los 8 índices. El valor de 10 equivale a la máxima sustentabilidad y el valor de 0 a la mínima sustentabilidad para cada índice. Sudamérica obtiene una puntuación de 45,19 y un 46,12% pertenece a los ISD y un 53,9% a los ISF. La OCDE obtiene una puntuación de 45,40 y un 68,1% pertenece a los ISD y un 31,39 a los ISF Chile obtiene una puntuación de 44,5 y un 53,39% pertenece a los ISD y un 46,61% pertenece a los ISF.

Se aprecia como el polígono rojo de Chile posee mayor similitud con el verde de Sudamérica. Hay que destacar en el IND-HE el punto de Chile es más próximo al azul de la OCDE y ambos están más próximos al centro, indicando

menor sustentabilidad en ese índice, o sea menor independencia ecológica. Sudamérica está cargada hacia la izquierda donde se ubican los 4 ISF y la OCDE hacia la derecha donde están los 4 ISD.

### 5.3.5.2. COMPARACIÓN GRÁFICA CAJAS (8 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

#### Comparación Sumatoria Países Sustentabilidad Ideal

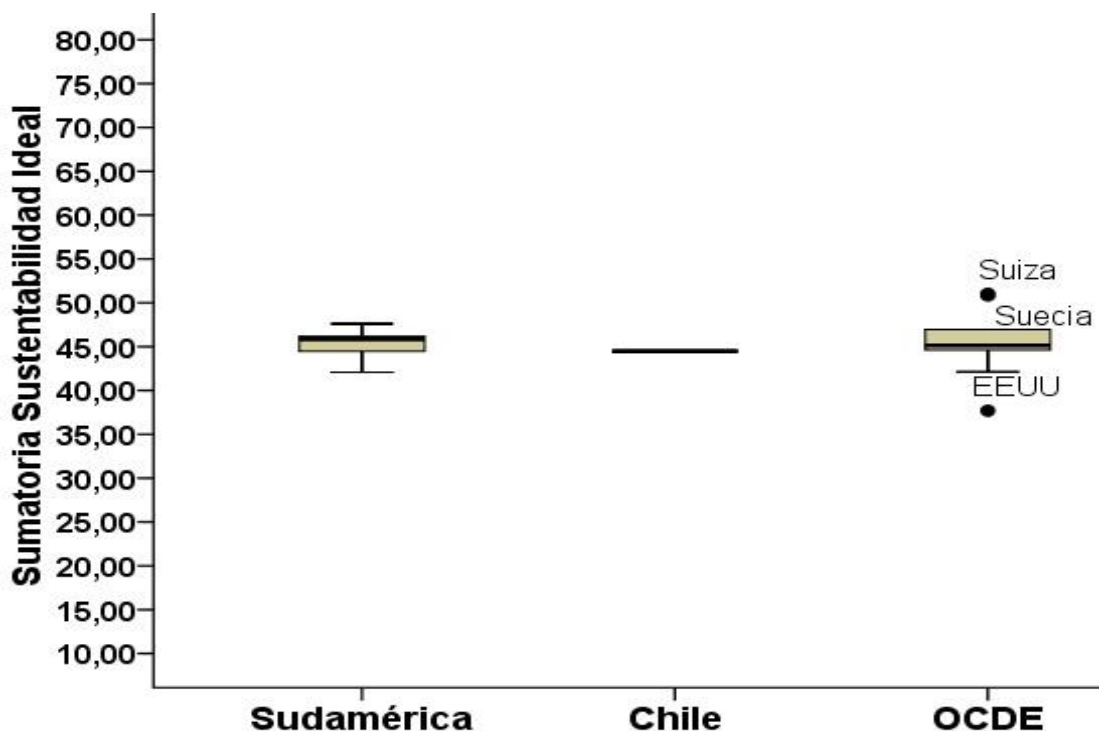


Figura 51. Comparación Sudamérica, Chile y la OCDE en la sustentabilidad ideal.

La figura 51 muestra la posición relativa de la sumatoria de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE. La calificación máxima posible corresponde a 80. Chile obtiene una suma de 44,5. Sudamérica obtiene una suma media de 45,2 ± 1,84 y la OCDE una suma media de 45,4 ± 4,12. Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE presentan distribución normal y la prueba F indica que si existe diferencias significativas (P<0,05). El test de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas (P<0,05) están entre Chile vs OCDE y Sudamérica vs OCE. No hay diferencias significativas entre Chile vs Sudamérica.

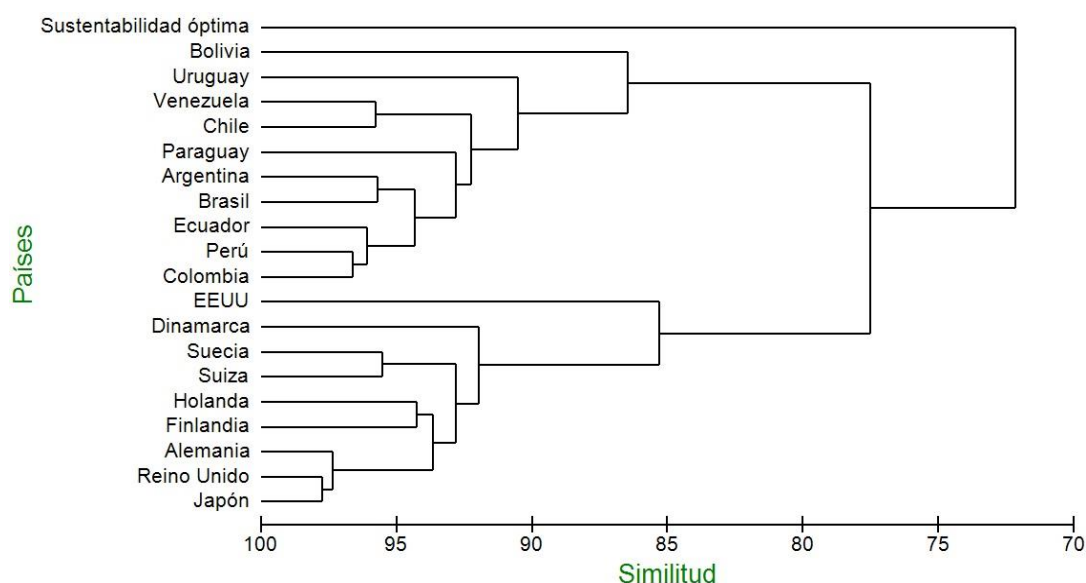
El valor de 80 corresponde a lograr 10 en los 8 índices de sustentabilidad. Suiza y Suecia se alejan del grupo de la OCDE y son los más próximos a la



sustentabilidad ideal. No hay diferencias marcadas entre Sudamérica y la OCDE como ocurría en las evaluaciones desde la perspectiva débil y fuerte anteriores.

### 53.5.3. GRÁFICA DE SIMILITUD MÉTODOS BRAY CURTIS (8 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

Las gráficas en la figura 52 y 53 detallan la similitud entre países considerando los 8 índices simultáneamente, que no es posible determinar considerando cada índice individualmente. La figura 53 muestra la gráfica espacial obtenida al realizar el análisis de similitud Bray Curtis. Esta gráfica, a diferencia del dendograma tradicional de la figura 52, permite conocer la distancia de cada país respecto a la sustentabilidad óptica ideal. Ambas son complementarias.

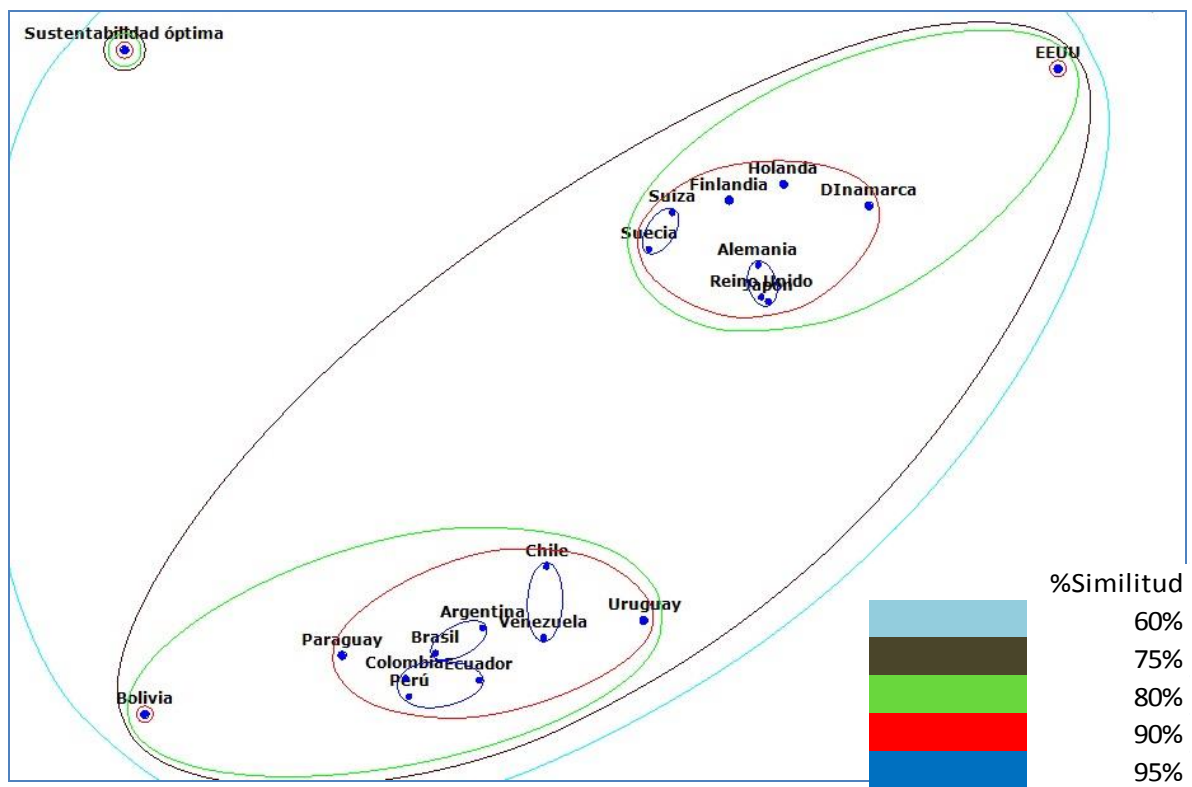


**Figura 52.** Dendrograma de Similitud Bray Curtis para sustentabilidad ideal.

La figura 52 muestra el dendrograma de similitud Bray Curtis para los países en estudio. Antes del corte en un 72% todos los países forman un único clúster, o sea que todos poseen al menos una similitud de un 72%. Al realizar un corte en un 72% de similitud aparecen las primeras diferencias y se forma dos clúster: un clúster que equivale solo a la “sustentabilidad ideal” y otro que agrupa a todos los países de Sudamérica, la OCDE y Chile. Esta situación indica que existe mayor similitud entre Chile, Sudamérica y la OCDE que entre

cada uno de estos y la “sustentabilidad ideal”. Al realizar un corte en un 77% se forman dos nuevos clúster, uno que agrupa a los países de la OCDE y otro a los países de Sudamérica. Al realizar un corte en un 90% EEUU y Bolivia se separan de sus grupos. Al realizar un corte en un 95% se forman 13 clúster los cuales agrupan países con mayores similitudes entre sí.

En la figura 52 se aprecia como la sustentabilidad ideal se desprende tempranamente del resto, incluso antes que Sudamérica y la OCDE se dividan. Chile presenta mayor similitud con Venezuela. También se aprecia como Bolivia y EEUU se desprenden tempranamente de sus respectivos grupos. El último grupo en separarse es el de Alemania, Reino Unido y Japón.



**Figura 53.** Gráfica espacial similitud Bray Curtis en sustentabilidad ideal.

En la figura 53 muestra la circunferencia más grande color celeste señala un 60 % de similitud e indica que todos los países del estudio comparten entre sí al menos un 60% de similitud. Luego está la circunferencia color café que señala un 75% de similitud que agrupa a todos excepto la “sustentabilidad ideal”, esto indica que existe mayor similitud entre Sudamérica y la OCDE que similitud entre estos y la “sustentabilidad ideal”. Luego surgen dos

circunferencias color verde que señalan un 80% de similitud, correspondiente a Sudamérica y la OCDE. Al interior de estas se separan EEUU de la OCDE y Bolivia de Sudamérica. Finalmente se aprecian diversas circunferencias de color azul que agrupan países que posean al menos un 90% de similitud. A este grado de similitud hay países que aparecen aislados que no comparten tal grado de similitud con ningún otro país.

La figura 53 muestra claramente que el objetivo de sustentabilidad ideal es inaccesible tanto para Sudamérica como para la OCDE. Ambos grupos se hallan a una distancia similar del objetivo.

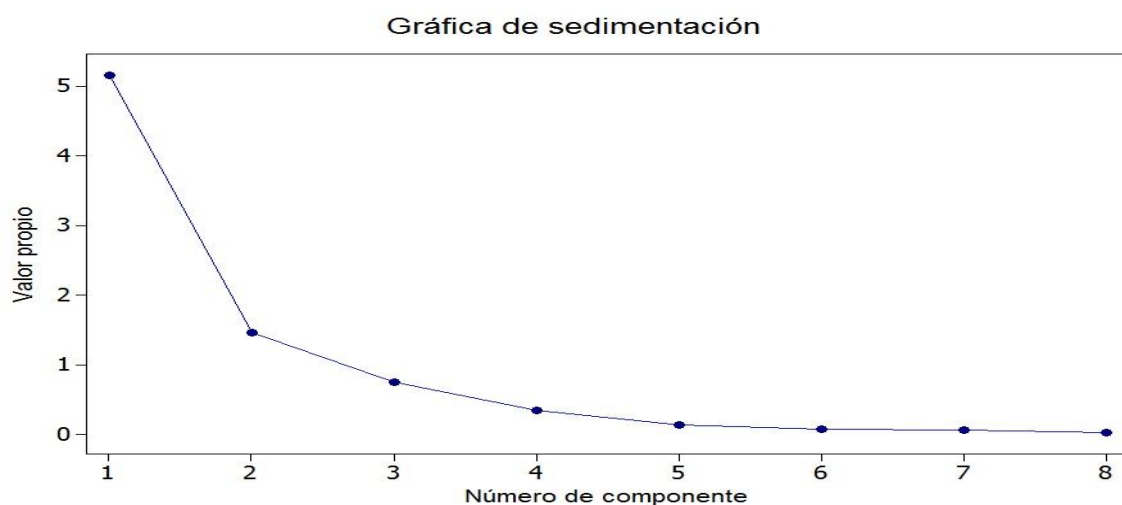
#### 53.5.4. GRÁFICA ANÁLISIS COMPONENTES PRINCIPALES (8 ÍNDICES SIMULTANEAMENTE)

Los 8 índices fueron analizados mediante la técnica de componentes principales. Para el análisis se usó la tabla estandarizada. A diferencia de análisis en el punto anterior que analizaba los países respecto a la sustentabilidad ideal, aquí se da énfasis a los índices. Este análisis permite reducir los índices a un número menor que recibe el nombre de componentes, perdiendo la menor información posible. Con esto es posible revelar características de los índices que no están de manera explícita. En este caso la pertenencia a la corriente de la sustentabilidad débil y fuerte.

Al procesar los 8 índices, estos se reducen a un determinado número de componentes. La tabla 30 muestra los valores de los componentes obtenidos, donde la mayor información se encuentra en el primer y segundo componente.

**Tabla 30.** Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación

Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Valor Propio	5,157	1,456	0,745	0,345	0,138	0,0713	0,0634	0,0238
Proporción	0,645	0,182	0,093	0,043	0,017	0,009	0,008	0,003
Acumulada	0,645	0,826	0,92	0,963	0,98	0,989	0,997	1



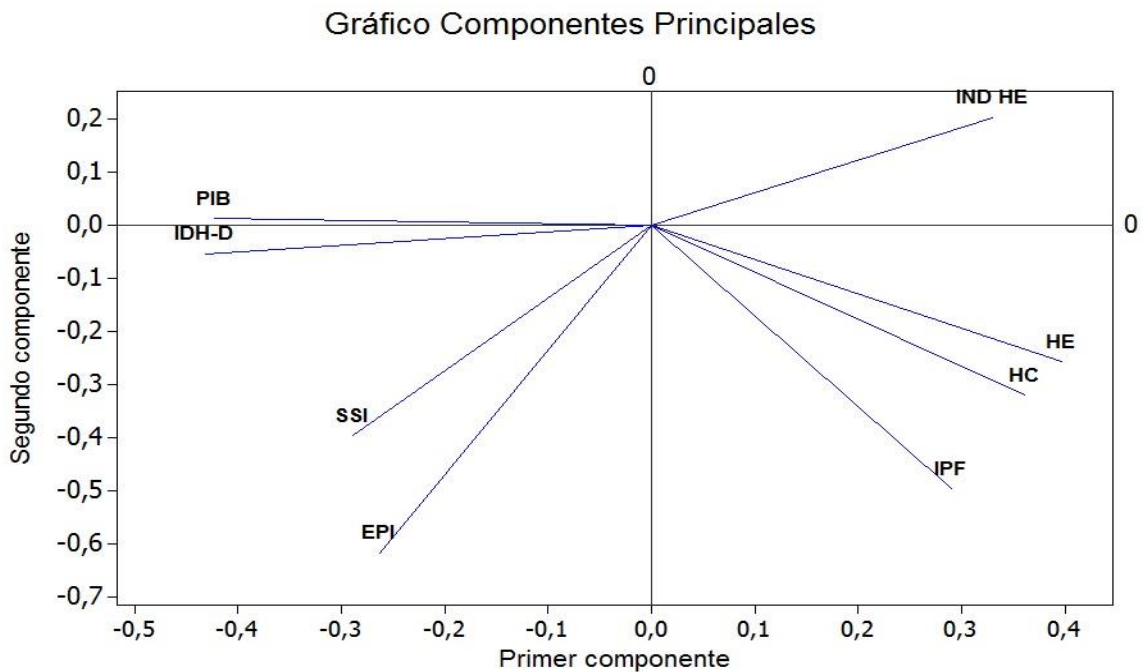
**Figura 54.** Gráfica de sedimentación

La figura 54 gráfica muestra los valores propios de los componentes, indicando que la mayor información está en componente 1 con un valor propio de 5,157 y el componente 2 con un valor propio de 1.456. La tabla 30 muestra que el primer componente aporta el 64,5% de la información y que el segundo componente aporta el 18,2% de la información, ambos componentes aportan el 82,7% de la información total. La composición de cada componente se presenta a continuación en la tabla 31.

**Tabla 31.** Matriz de componentes 1 y 2

Matriz Componentes principales		
	componentes	
	1	2
SSI	-0,289	-0,397
IDH-D	-0,432	-0,054
PIB	-0,423	-0,012
EPI	-0,264	-0,618
IPF	0,29	-0,498
IND-HE	0,33	0,202
HE	0,397	-0,258
HC	0,361	-0,321

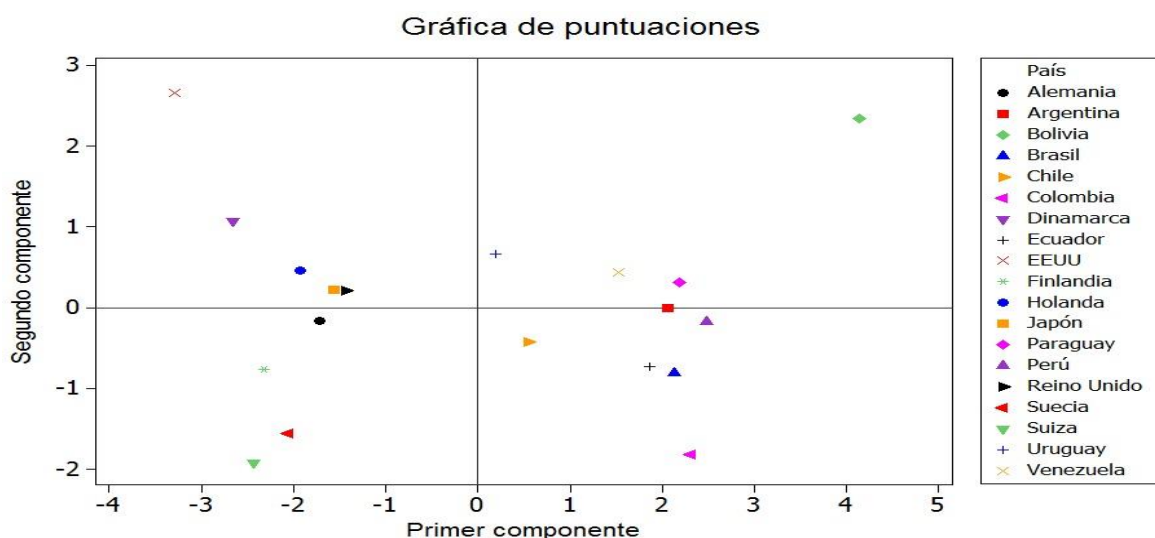
La Tabla 31 muestra los dos componentes que aportan en conjunto un 82,7% de la información. En el primer componente de mayor peso, los índices de sustentabilidad débil y fuerte poseen signos opuestos indicando su relación inversa. En este primer componente la HE y el IDH-D tienen los mayores pesos con signo contrario, indicando que ambas variables están inversamente relacionados con mayor fuerza, o sea que a mayor sustentabilidad en IDH-D, menor sustentabilidad en la huella ecológica (HE). En el segundo componente, solo la IND HE y PIB per cápita PPA posee signo positivo, el resto de índices posee signo negativo. Los índices con mayor peso son IND HE y EPI pero con signo opuesto.



**Figura 55.** Grafica de componentes principales para índices de sustentabilidad.

La figura 55 muestra la distribución de los 8 índices en los dos componentes. En el primer componente los ISD e ISF están en lados opuestos de eje vertical señalando la naturaleza distinta de ambos grupos de índices (débil versus fuerte) que inicialmente no es explícita. Los índices más extremos son el IDH-

D y HE. En el segundo componente solo el PIB PPA per cápita e IND-HE están sobre el eje horizontal.



**Figura 56.** Países en gráfica de puntuaciones.

La figura 56 muestra la gráfica de puntuaciones de los países. Nueva información es ofrecida por el segundo componente donde, a diferencia del análisis Braay Curtis, EEUU y Bolivia poseen casi la misma calificación, siendo más similares entre sí que con los demás países. Lo mismo ocurre con Colombia y Suiza que se ubican al otro extremo, con similar calificación, pasando por alto el hecho de pertenecer a Sudamérica ó la OCDE.

Puede inferirse que este segundo componente tiene como criterio el equilibrio entre ambas corrientes de sustentabilidad, ya que Colombia y Suiza son los más equilibrados logrando buenas calificaciones en ambos grupos de índices, mientras que EEUU y Bolivia son los extremos, donde EEUU si bien obtiene buenas calificaciones en los ISD, posee las peores en los ISF, lo mismo ocurre con Bolivia, si bien posee buenas calificaciones en los ISF, posee las peores en los ISD.

### 5.3.5.5. DISCUSIONES DESDE LA PERSPECTIVA DE LA “SUSTENTABILIDAD IDEAL”

Como muestra la figura 51 no existe mayores diferencias entre la OCDE, Sudamérica y Chile. Las gráficas radiales de la “sustentabilidad ideal” muestra dos cosas importantes: 1) ningún país logra cubrir el área completamente. 2) los países transitan desde un estado de sustentabilidad fuerte hacia un estado de sustentabilidad débil. Los más próximos a la hipotética “sustentabilidad ideal” son Suiza, Colombia y Suecia, que muestran mayor equilibrio en ambas corrientes de sustentabilidad, abarcando mayor área en la gráfica radial. Los más alejados son EEUU, Venezuela y Uruguay.

Las diferencias entre Sudamérica y la OCDE son mínimas en relación a las marcadas diferencias obtenidas desde la perspectiva débil y fuerte. Los resultados muestran que el motivo está en que la OCDE cancela sus buenos resultados en la sustentabilidad débil con sus pobres resultados en la sustentabilidad fuerte. Lo inverso ocurre con Sudamérica, que cancela sus buenos resultados en la sustentabilidad fuerte con los bajos resultados en la sustentabilidad débil. La imposibilidad de lograr la sustentabilidad ideal estaría en que ambas corrientes pretenden 2 objetivos contrapuestos. De esta forma los resultados respaldan la idea de que el problema puntual en el diseño de índices de sustentabilidad está en los diferentes objetivos pretendidos por la sustentabilidad débil y fuerte como han concluido Clarke & Islam (2006), Lawn (2007), Ness *et al.*, (2007), Nourry, (2008), Pillarisetti (2005), Sutton (2003), Wilson (2007), Zhou *et al.*, (2006). A continuación se discuten los motivos que impedirían lograr la “sustentabilidad ideal” tanto en la dimensión ambiental, social y económica.

#### INCOMPATIBILIDAD DIMENSIÓN ECONÓMICA

La dimensión económica en el sentido débil exige que la disponibilidad de bienes de capital por habitante no decrezca en el tiempo Cabezas (1996). En este sentido una mayor disposición de bienes de capital (medido por el PIB) puede considerarse como el motor de la sustentabilidad ya que permite mejorar

las demás dimensiones de la sustentabilidad como muestra Wilson et al., (2007). Sin la presencia de bienes de capital, ninguna mejora es posible y esto es independiente del tipo de organización del sistema económico de los países, ya sea de libre mercado o planificación central ya que ambas requieren de bienes de capital para ofrecer mejor bienestar a su población en el sentido débil. En este caso la OCDE está mejor posicionada para entregar buena calidad ambiental. Desde la postura débil, la única manera de Sudamérica mejore su calidad ambiental y social local es incrementando la disposición de bienes de capital por habitante.

Sin embargo, desde la posición fuerte, como propone Van der berg (2009) el PIB no puede ser considerado como índice de progreso, ya que un incremento de bienes de capital solo haría más insustentables a Sudamérica, ya que todo incremento de bienes de capital implica mayor consumo de riqueza natural global, afectando la sustentabilidad global, que finalmente se refleja en una mayor huella ecológica (HE), más emisiones de gases invernadero (HC) y mayor dependencia ecológica externa (IND-HE), restando sustentabilidad fuerte. Desde la sustentabilidad fuerte los países Sudamérica deberían enfocarse en buscar formas alternativas de desarrollo. La contradicción entre ambas corrientes como se aprecia, es que solo puede existir acumulación de bienes de capital transformando la naturaleza. De hecho en Wilson et al., (2007) se muestra como el PIB per cápita presenta fuerte correlación con el consumo de recursos medido por la HE. Por lo tanto, la OCDE desde una perspectiva fuerte, carece de sustentabilidad en el largo plazo ya que necesita un continuo suministro de recursos naturales (finitos) del exterior para mantener su artificial calidad ambiental local medida por el EPI y SSI.

Para lograr el objetivo de la sustentabilidad fuerte existen dos alternativas según Ewing *et al.*, (2010): 1) el consumo de recursos por habitante, medido por la huella ecológica, no supere la biocapacidad local por habitante. 2) el consumo de recursos por habitante no supere la biocapacidad permitida globalmente, que equivalente a 2,1 gha per cápita. Si bien el primer criterio es suficiente para la sustentabilidad global, no es suficiente si se añade un criterio de equidad social, ya que la biocapacidad local no es homogénea,



no todos los países son abundantes en recursos, por lo tanto aplicar solo el primer criterio implicaría grandes desigualdades. De esta forma los países que cumplen el primer criterio de sustentabilidad fuerte son: Ecuador, Suecia, Uruguay, Finlandia, Colombia, Perú, Argentina, Brasil, Paraguay, Bolivia y Chile. Mientras que el segundo criterio solo es cumplido por: Ecuador, Perú y Colombia.

Si bien los objetivos de sustentabilidad fuerte son claras, las imprecisiones surgen al momento de desarrollar propuestas sobre como transitar hacia una sociedad en dirección de los objetivos de sustentabilidad fuerte, algunas propuestas se hallan en Latouche (2008) y Kerschner (2010). Por ahora se alienta a los países menos desarrollados, en este caso a países de Sudamérica, al menos a no imitar el modelo de desarrollo de los países como la OCDE que desde la perspectiva fuerte, son un claro ejemplo de que mayor crecimiento económico no implica vivir mejor. Por otra parte, desde la posición débil la solución para Sudamérica está en crecer para permitirse ser amigables con el ambiente.

#### DIMENSIÓN AMBIENTAL.

Comparando EPI y SSI (evalúan calidad ambiental local) con la HE (evalúa calidad ambiental global) ambas se relacionan de manera inversa como muestra el primer factor del análisis de componentes principales. Cuando el EPI ó SSI indican una mejora de la calidad ambiental local, la huella ecológica (HE) indica empeoramiento del calidad ambiental global. Por ejemplo Suiza es sustentable en EPI y SSI, pero insustentable en huella ecológica (HE). Por el contrario, Bolivia es sustentable en huella ecológica (HE) por consumir poco, pero es insustentable en EPI y SSI. En acuerdo con Siche *et al.*, (2008) se sugiere que esta situación se da por que EPI se enfoca en las presiones ambientales locales, que afectan sensiblemente a la población, en cambio la HE se enfoca en las presiones ambientales globales. En Wilson et al., (2007) también se obtienen resultados contradictorios entre índices ambientales de sustentabilidad local versus global.

La razón estaría en que los países para alcanzar altos puntajes en EPI y SSI requieren si ó si un incremento de bienes de capital (equipos sofisticados, tecnologías, capital humano) para acceder a una buena calidad ambiental local (ríos limpios, atmosfera urbana limpia, areas verdes, adecuada gestión residuos). Sin embargo, ya que todos los bienes de capital requieren de la transformación de recursos naturales globales, en última instancia toda mejora local se traduce en un mayor consumo global de recursos naturales, que finalmente se reflejada en una mayor huella ecológica (HE). La misma relación inversa ocurre al comparar con la huella de carbono (HC) donde los países más emisores de gases invernadero son los más sustentables en EPI y SSI. Este es un claro ejemplo de cómo estos países internalizan beneficios pero socializan los costos.

Al comparar el EPI y SSI con el índice de independencia ecológica (IND-HE) también se presenta la relación inversa como indica el analisis de componentes principales. La OCDE es más sustentable en EPI y SSI, pero al mismo tiempo dependen de más recursos naturales externos para sostener dicha calidad local, por lo que obtienen baja puntuación en el IND-HE. Japón es un ejemplo de sustentabilidad débil, ya que a pesar de ser una isla pobre en recursos naturales, es capaz de brindar una gran calidad ambiental y social. Sin embargo, desde la sustentabilidad fuerte Japón es claro un ejemplo de insustentabilidad ya que su estilo de vida solo es posible mediante la acumulación y concentración de huella ecológica proveniente de diferentes lugares del mundo, limitando y condicionando el futuro desarrollo de países menos desarrollados.

Por lo tanto los países que obtienen buenas calificaciones en calidad ambiental local (EPI y SSI), solo pueden ser sustentables siendo acumuladores de huella ecológica proveniente de fuera de sus fronteras, extraída a otros países mediante los intercambios comerciales desiguales en términos de huella ecológica por unidad de US\$ transado. De esta forma, los países que pierden huella ecológica verían comprometida su capacidad futura para alcanzar en el futuro altos valores de calidad ambiental local en EPI y SSI al quedar cada vez menos huella ecológica disponible globalmente y al estar esta cada vez más

concentrada en menos países. Por lo tanto, desde la sustentabilidad fuerte, los índices EPI y SSI promueven un bienestar ambiental local artificial, ilusorio e insostenible ya que este bienestar artificial solo se logra aumentando el consumo de huella ecológica global. Por lo tanto, no todos los países podrán alcanzar una calidad ambiental local como la OCDE.

Ahora, desde la posición de la sustentabilidad débil, la posición de la sustentabilidad fuerte cae en error al considerar la escasez de recursos naturales como absoluta, siendo que esta es relativa al factor tecnológico y conocimiento del hombre. Desde la posición débil, los intercambios económicos no son un juego de suma cero, sino un juego de suma positiva. Por lo tanto, el aumento de calidad ambiental local medido en EPI de la OCDE no sería a costa de comprometer el desarrollo futuro de países menos desarrollados, ya que la riqueza natural se irá amplificando a medida que se incrementa el conocimiento tecnológico en la sociedad.

Por otra parte, para la sustentabilidad débil, la baja huella ecológica de Sudamérica carece de relevancia, ya que esta no ocurre por conciencia ambiental social, sino por ser pobres. En el caso de la huella de carbono (HC), bajas emisiones de gases invernadero no necesariamente implica un estado de pobreza, podría implicar también un estado de gran riqueza económica. Un mismo nivel de emisiones podrían darse en un país lo suficientemente desarrollado que ha iniciado un descenso de sus emisiones debido al recambio en sus fuentes de energía como propone la curva ambiental de Kuznets. En este sentido la huella de carbono (HC) para la sustentabilidad débil, en cierto modo, podría ser útil como indicador de progreso tecnológico ya que su descenso sería reflejo de una mayor riqueza económica y tecnología que le permite reemplazar combustibles fósiles por energías ecológicas.

En el caso de la huella ecológica (HE) no podría esperarse un descenso como ocurre con la huella de carbono (HC). Esto es imposible por que una reducción en la huella de carbono implicaría si o si aumentar la huella ecológica ya que mejores tecnologías requieren más crecimiento e inversión de riqueza económica y esta en última instancia proviene de la transformación de la

naturaleza, lo que implica incrementar la huella ecológica (HE). Ante esto surge el cuestionamiento sobre si los escasos factores de producción (tiempo, capital humano, tecnológico) deberían estar dirigidos a frenar el crecimiento como propone la sustentabilidad fuerte ó a impulsarlo para dibujar cuanto antes una curva ambiental de kuznets para iniciar la reducción de gases invernaderos.

En resumen, la incompatibilidad surge por que los ISD cuando se refieren a un medio ambiente sano, se refieren al medio ambiente dentro de las fronteras, de esta forma los ISD evalúan los cambios al interior de los países, midiendo la mejora de la calidad ambiental local. En cambio los ISF evalúan los cambios ocurridos fuera de las fronteras, midiendo los cambios de la calidad ambiental fuera de las fronteras, o sea la calidad ambiental global. Por lo tanto cuando ambos se refieren a calidad ambiental se refieren a diferentes cosas.

#### INCOMPATIBILIDAD DIMENSIÓN SOCIAL:

EL índice planeta feliz (IPF) y el índice desarrollo humano ajustado por desigualdad (IDH-D) ambos índices de bienestar social, poseen una relación inversa como indica el primer factor del análisis de componentes principales. Cuando el IDH-D indica mejoras en el bienestar social, el IPF indica empeoramiento del bienestar social.

Desde la sustentabilidad fuerte, podría criticarse el IDH-D ya que no incorpora la naturaleza como parte de un bienestar social integro. Por lo tanto el IPF sería un índice más realista de desarrollo social a largo plazo ya que incluye la dimension biofisica como base del desarrollo humano. Esto queda patente en países como Suiza, EEUU y Holanda que poseen altas calificaciones en desarrollo humano IDH-D, pero aparecen en los últimos lugares del IPF ya que su bienestar social requiere consumir mucha huella ecológica global para ser sostenida. Por el contrario Colombia, si bien no logra los mejores valores de desarrollo humano IDH-D, ocupa el primer lugar en IPF indicando mayor eficiencia en la producción de bienestar social por unidad de consumo de recursos naturales. En esta linea el IPF sería buen índice para la escuela del

Decrecimiento Económico y Economía Ecológica que apoyan la sustentabilidad fuerte.

Otra crítica desde la posición fuerte, es que al considerar su premisa de que los intercambios son un juego de suma cero, los países de la OCDE con mayor desarrollo humano (IDH-D) lo son por concentran mayor huella ecológica como se muestra en Moran *et al.*, (2008) y Ewing *et al*, (2010), obtenida desde países menos desarrollados mediante intercambios desiguales. Por lo tanto mayores puntuaciones en IDH-D de la OCDE, estarían comprometiendo que países de Sudamérica puedan en el futuro lograr buenas evaluaciones en IDH-D.

Desde la posición de la sustentabilidad débil, considerando la premisa de escasez de recursos relativa al factor tecnológico, no sería válida posición del IPF de pretender condicionar el desarrollo humano a la finitud de recursos. Al contrario, solo un mayor consumo, sumado a una correcta gestión permite la creación de más capital humano, necesario para que mediante nuevas tecnologías sean accesibles nuevas reservas de recursos naturales, amplificando así la disponibilidad de recurso que permitan elevar los estándares de vida en el IDH-D. Por esto, solo los países de la OCDE quienes más recursos consumen y simultáneamente son quienes producen más conocimiento.

En resumen, la mejora de la calidad ambiental y social local medida por los ISD requiere de bienes de capital, lo que reduce la calidad ambiental global medida por los ISF ya que el incremento en la producción de bienes de capital exige consumir recursos comunes globales, incrementando la huella ecológica y emisiones de gases invernadero.

## 5.4. EVALUACIÓN DESDE LA PERSPECTIVA DE LA COMPLEJIDAD.

A continuación se presentan los 3 índices que miden patrones presentes en la medida que los sistemas económicos incrementan su complejidad. Se presenta la justificación teórica basados en Odum (1996) y Hausmann & Hidalgo *et al.*, (2008).

### 5.4.1. JUSTIFICACIÓN ÍNDICES COMPLEJIDAD PROPUESTOS

**Tabla 32** Descripción de Intensidad de Huella Ecológica (gha por US\$)

	Índice energético en sistemas ecológicos	Índice emergético para sistema económicos	Índice propuesto para sistemas económicos
<b>Patrón complejidad</b>	Minimización Entropía específica	Minimización Emergía específica ó Intensidad Emergética	Minimización Huella Ecológica Específica ó Intensidad de Huella Ecológica
<b>Unidades</b>	W / kg de biomasa	seJ/US\$/año	gha/US\$/año
<b>Definición</b>	exergía disipada por unidad de biomasa	Emergía disipada por unidad de US\$	Huella ecológica disipada por unidad de US\$

La tabla 32 muestra el primer patrón, de eficiencia en sistemas ecológicos y económicos. Fath *et al.*, (2004) proponen que los sistemas ecológicos tienden a minimizar su entropía específica por unidad de masa, resultando en metabolismos más eficientes. Esto significa menor gasto energético por unidad de masa, lo que se expresa en una menor respiración por unidad de biomasa. Esta tendencia queda patente en la ley de Kleiber como muestra la figura 5. El mismo patrón de eficiencia metabólica para sistemas económicos se propone en Odum (1996) mediante la reducción de emergía por unidad de dólar US\$. Como muestra la tabla 2 la relación emergía/dinero tiende a reducirse a medida que los sistemas económicos son más desarrollados.

Considerando que emergía y huella ecológica reflejan la “cantidad de naturaleza” requerida para producir una unidad de producto, se propone que la emergía específica por unidad de US\$ en términos de huella ecológica equivale a la huella ecológica por unidad de US\$. Por lo tanto se espera que a medida que los países incrementan su complejidad, la eficiencia se refleja en un

menor requerimiento de huella ecológica para producir una unida de riqueza económica US\$. En términos per cápita se espera que países más complejos, el ciudadano promedio consume menos riqueza natural para generar un US\$, pero al disponer de mayor renta, su consumo total sea mayor.

**Tabla 33** Descripción de Densidad de Huella Ecológica (gha /m2)

	<b>Índice energético en sistemas ecológicos</b>	<b>Índice energético para sistema económicos</b>	<b>Índice propuesto para sistemas económicos</b>
<b>Patrón complejidad</b>	<b>Maximización acumulación exergía</b>	<b>Maximización Densidad Emergética</b>	<b>Maximización Densidad de Huella Ecológica</b>
<b>Unidades</b>	<b>W /m2</b>	<b>seJ/m2/año</b>	<b>gha/m2/año</b>
<b>Definición</b>	<b>Flujo de exergía por unidad de territorio</b>	<b>Flujo de emergía por unidad de territorio</b>	<b>Flujo de Huella Ecológica por unidad de territorio</b>

La tabla 33 muestra el segundo patrón, el de acumulación para sistemas ecológicos y económicos. Jorgensen *et al.*, (2000) propone que los sistemas ecológicos y económicos tienden a maximizar su acumulación de exergía. Odum (1996) propone que los sistemas ecológicos y económicos tienden a maximizar su acumulación de emergía. Fath *et al.*, (2004) muestra que el principio de máxima potencia emergética de Odum (1996) es consistente con el principio de la máxima acumulación de exergía de Jorgensen *et al.*, (2000).

Al agregar la dimensión territorial, la máxima potencia emergética de Odum (1996) recibe el nombre de maximización de la densidad de emergía como se muestra en la figura 3. Por lo tanto los sistemas económicos tienden a maximizar la densidad de emergía por unidad de territorio y tiempo.

Considerando que emergía y huella ecológica reflejan la “cantidad de naturaleza” que fue requerida para producir una unidad de producto, se propone que un incremento de la densidad de emergía por unidad de territorio, en términos de huella ecológica equivale a incrementar la densidad de huella ecológica por unidad de territorio. Por lo tanto se espera que a que medida que se incrementa la complejidad de un país, se incremente la densidad de huella ecológica por unidad de territorio

**Tabla 34** Descripción índices complejidad exportaciones.

	Índices energético en sistemas ecológicos	Índices emergético en sistemas económicos	Índice propuesto para sistemas económicos
Patrón de complejidad	Maximización acumulación exergía	Maximización acumulación emergía	Maximización acumulación conocimiento productivo (complejidad de las exportaciones)
Unidad	W/m <sup>2</sup>	sej/m <sup>2</sup> /año	personbytes
Definición	Incremento exergía (redes, conexiones e información) por unidad de territorio	Incremento emergía (redes, conexiones e información) por unidad de territorio	Incremento conectividad conocimiento productivo (exportaciones más diversas y sofisticadas)

La tabla 34 muestra el tercer patrón, el de incremento de redes para sistemas ecológicos y económicos. Jorgensen *et al.*, (2000) proponen que los ecosistemas y sistemas económicos se hacen más complejos aumentando la acumulación de exergía mediante el incremento de redes y conexiones entre las partes que componen el sistema. Esta idea también es desarrollada por Odum (1996) que propone que los sistemas económicos más complejos poseen mayor división de trabajo, conectividad, mayores niveles de jerarquía energética, mayor número de conexiones e información por unidad territorial.

Las observaciones realizadas por Odum (1996) y Jorgensen *et al.*, (2000) también son descritas por el atlas de complejidad económica desarrollado por Hausmann & Hidalgo *et al.*, (2008) donde proponen que la complejidad de un sistema económico está dado por la interconectividad y diversidad de conocimiento productivo al interior del sistema económico, lo que se refleja en una matriz de exportaciones más diversas y sofisticadas. (Hausmann & Hidalgo *et al.*, 2008) proponen que una matriz de exportaciones es reflejo de una mayor cantidad de personbytes o unidades de conocimiento productivo imbuidos en el sistema. A mayor personbytes más complejo el sistema económico. Desde esta perspectiva los productos pueden medirse en función de la cantidad de conocimiento requerido para su producción. En el siguiente link puede observarse la diversidad de estructuras productivas de los países. [http://atlas.media.mit.edu/explore/tree\\_map/export/chl/all/show/2010/](http://atlas.media.mit.edu/explore/tree_map/export/chl/all/show/2010/)



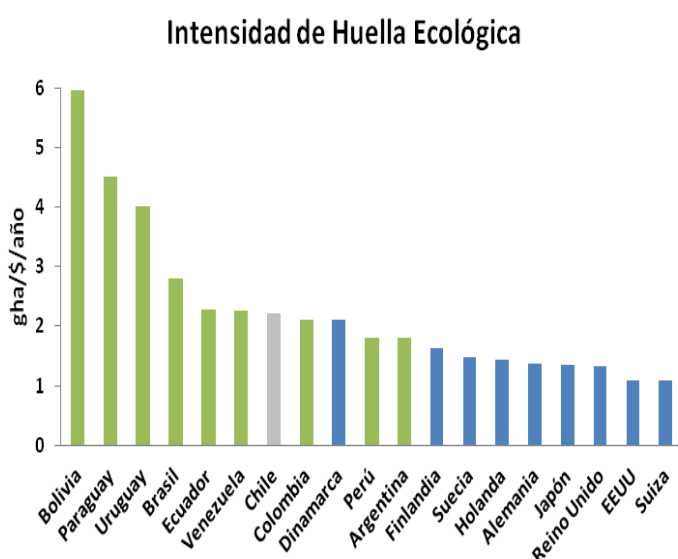
**Tabla 35** Matriz de datos de índices de complejidad para comparación de países.

Matriz índices de complejidad de países			
Países	Intensidad de Huella Ecológica	Densidad de Huella Ecológica	Complejidad Exportaciones
Paraguay	4,5	48,075	1,526
Bolivia	5,96	22,27	1,121
Ecuador	2,29	88,91	1,381
Venezuela	2,25	87,23	0,891
Perú	1,8	34,16	1,424
Argentina	1,8	36,93	2,106
Uruguay	4,02	97,23	2,109
Brasil	2,8	64,97	2,244
Colombia	2,1	72,84	2,2
Chile	2,22	71,3	1,688
Holanda	1,44	2433,71	3,044
Reino Unido	1,33	1227,07	3,558
Japón	1,34	1594,54	4,316
Finlandia	1,63	96,19	3,715
Alemania	1,36	1171,6	3,985
Suecia	1,48	119,61	3,859
Dinamarca	2,1	1044,62	3,267
Suiza	1,09	913,35	3,935
EEUU	1,1	251,29	3,447

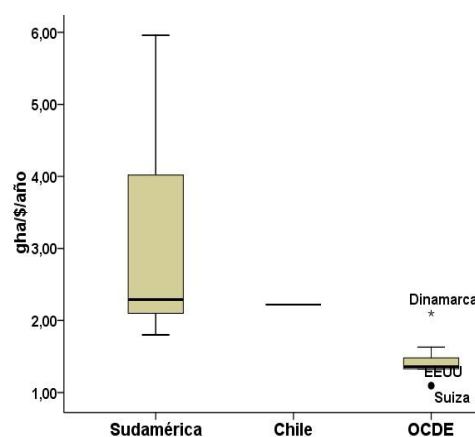
La tabla 35 muestra los valores obtenidos para cada índice propuesto. La intensidad de huella ecológica representa la cantidad de riqueza natural medida en gha (hectáreas globales) requeridas para producir US\$10'000. La Densidad de huella ecológica representa la cantidad de riqueza natural consumida en un territorio de 1 km<sup>2</sup>. Complejidad exportaciones representa la cantidad de conocimiento productivo dentro un país. Los valores de complejidad en la escala original oscilan entre -2 y 2. Puede revisar los valores en este link <http://atlas.media.mit.edu/rankings/>. Para este trabajo, a valor se le sumó 2 para trabajar con valores positivos. Esta suma no afecta los resultados ya que la proporción entre países se mantiene intacta.

### 5.4.3. GRÁFICA DE BARRAS Y CAJAS (3 ÍNDICES INDIVIDUALMENTE)

A continuación los países son comparados en cada índice de complejidad descrita en el punto anterior. Cada índice se presenta en 2 gráficas. En la primera los países se ordenan desde el menos complejo al más complejo. Los valores se obtuvieron de los reportes indicados en el punto anterior.



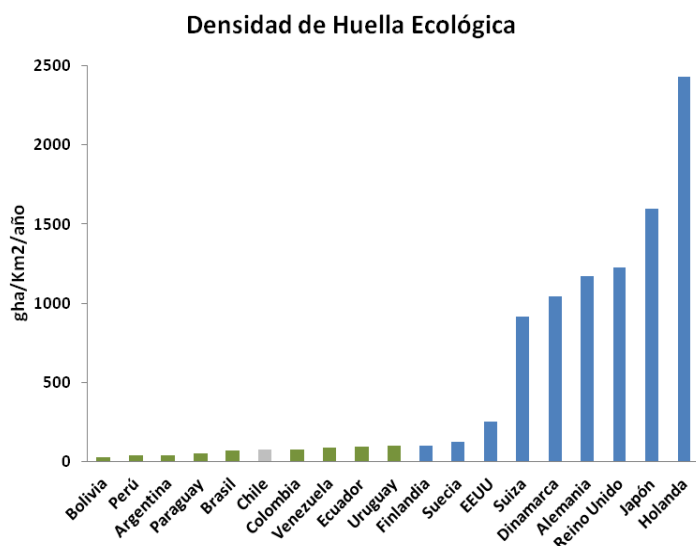
**Figura 57.** Comparación en escala original Intensidad Huella Ecológica 2008



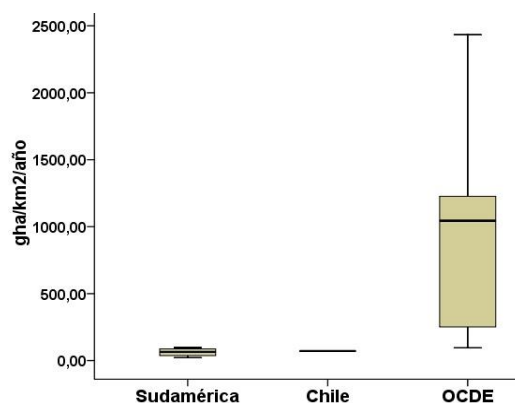
**Figura 58.** Comparación Chile con media de Sudamérica y OCDE

La figura 57 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la Intensidad de Huella Ecológica 2008. La figura 58 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE. Chile posee una intensidad de 2,22 gha/US\$/año. Sudamérica posee una intensidad media de  $3,06 \pm 1,45$  gha/US\$/año y la OCDE una intensidad media de  $1,43 \pm 0,3$  gha/US\$/año. Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE presentan una distribución normal. El análisis Anova indica que si existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). El test de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) solo están entre Sudamérica vs OCE. No hay diferencias significativas entre Chile vs Sudamérica y Chile vs OCDE.

En la figura 58 se aprecia que el grupo de la OCDE es más homogéneo que Sudamérica. Sudamérica en promedio requiere el doble de huella ecológica para producir una unidad de US\$. En términos de sistema la OCDE posee un metabolismo más eficiente para transformar riqueza natural en riqueza económica.



**Figura 59.** Comparación en escala original Densidad Huella Ecológica 2008

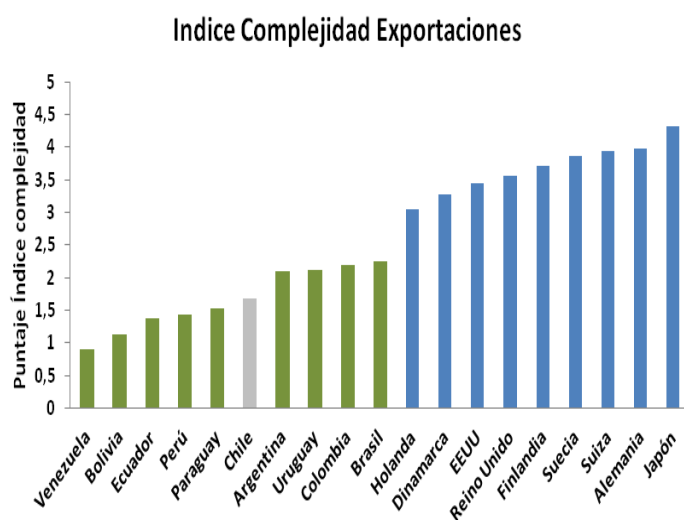


**Figura 60.** Comparación Chile con media de Sudamérica y OCDE

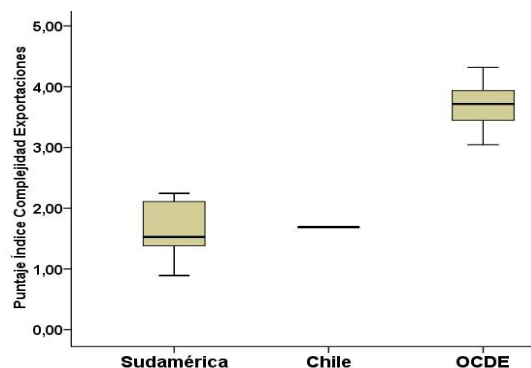
La figura 59 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la Densidad de Huella Ecológica 2008. La figura 60 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE. Chile posee una densidad de 71,3 gha/Km2/año. Sudamérica posee una densidad media de 61,4 ± 27,16 gha/Km2/año y la OCDE una densidad media de 983,55 ± 762,37 gha/Km2/año. Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE presentan una distribución normal. El análisis Anova indica que si existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). El test de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) están entre Sudamérica vs OCE y Chile vs OCDE. No hay diferencias significativas entre Chile vs Sudamérica

Los resultados muestran la mayor densidad de huella ecológica de la OCDE. Su mayor desviación estándar indica que dentro del grupo hay mayor

heterogeneidad respecto al grupo de Sudamérica que muestra baja desviación estandar indicando mayor homogeneidad en la densidad de huella ecológica.



**Figura 61.** Comparación en escala original Densidad Huella Ecológica 2008



**Figura 62.** Comparación Chile con media de Sudamérica y OCDE

La figura 61 muestra la posición relativa de Chile respecto a Sudamérica y la OCDE en la Intensidad de Huella Ecológica 2008. La figura 62 muestra el valor de Chile respecto a la media de Sudamérica y la OCDE. Chile posee una puntuación de 1.69. Sudamérica posee una media de  $1,67 \pm 0,51$  y la OCDE una media de  $3,68 \pm 0,39$ . Tanto el grupo de Sudamérica y la OCDE presentan una distribución normal. El análisis Anova indica que si existe diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). El test de Tukey-Kramer indica que las diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) están entre Sudamérica vs OCE y Chile vs OCDE. No hay diferencias significativas entre Chile vs Sudamérica.

Chile posee una complejidad más similar a Sudamérica. Los países con estructuras productivas más complejas son Alemania y Japón, ambos poseen un fuerte sector tecnológico. En contraste está Venezuela donde el 80% sus ingresos depende solo a la exportación de petróleo.

#### 5.4.4. DISCUSIÓN ÍNDICES DE COMPLEJIDAD

La tendencia observada en la intensidad de huella ecológica concuerda con la teoría propuesta por Odum (1996; 2007) donde los países menos complejos son menos eficientes, reflejado en su mayor ratio energía/PIB, en este caso mayor huella ecológica/PIB. Resultados similares se hallan en York *et al.*, (2005) donde los países más pobres, en términos de PIB, poseen las mayores ratios huella ecológica/PIB, siendo los menos eficientes y más contaminadores para producir una unidad de riqueza económica. Estos resultados en términos de huella ecológica concuerdan los resultados en términos energéticos en Liu *et al.*, (2008) y Ming *et al.*, (2010) donde sistemas mas complejos presentan mayor eficiencia (menor energía/PIB)

En este trabajo un ejemplo de baja eficiencia es Bolivia que requiere 6 gha de huella ecológica para producir 10'000 US\$ mientras que Suiza y Japón requieren solo 1 gha. Peor aún es la eficiencia de países africanos como muestra York *et al.*, (2005) que requieren en torno a los 16 gha para producir 10'000 US\$. Estos resultados refuerzan el argumento de que sistemas más desarrollados son más eficientes y por lo tanto sería deseable crecer para contaminar menos. Por otra parte, los resultados muestran que curiosamente los países con mayor huella ecológica per cápita son quienes poseen mayor eficiencia en la transformación de recursos naturales (menor intensidad de huella ecológica).

La razón en términos económicos está en la composición de las estructuras productivas de los países, donde a mayor desarrollo, mayor es la presencia de bienes de capital con alto valor añadido (maquinaria, tecnología, equipos sofisticados, conocimiento) volviendo más eficiente al sistema. En términos energéticos, considerando a los países como estructuras disipativas, se debe a que al interior de países desarrollados como Suiza hay más, redes, conexiones e información logrando mejor aprovechamiento de los recursos que ingresan.

El hecho de que países de mayor huella ecológica y mayor renta per cápita sean más eficientes, desde la perspectiva de la teoría de sistemas, es descrito por Odum (1996; 2007) que propone que los sistemas desarrollados (ya sean económicos o ecológicos) para lograr un metabolismo más eficiente, requieren

una acumulación previa de exergía (biomasa en el caso de sistemas vivos). Por ejemplo, en términos energéticos puede decirse que Suiza es a Bolivia, lo que un elefante es a un ratón. Un elefante posee un metabolismo más eficiente que el ratón, necesitando menos energía por unidad de biomasa, reflejado en su menor frecuencia cardíaca o menor tasa de respiración/biomasa como indica la ley de Kleiber (Zhang & Yu, 2010), pero dicha eficiencia requiere una mayor biomasa previa. Finalmente, el elefante, consume menos energía por unidad de masa, pero al poseer una masa total superior, su consumo total es mayor al consumo de un ratón. De la misma forma, Suiza posee un metabolismo más eficiente que Bolivia, consumiendo menos energía por unidad de US\$ pero simultáneamente posee una renta per cápita mayor, resultando en un consumo total mayor, lo que queda reflejado en una mayor huella ecológica por cápita de los países desarrollados, a pesar de su mayor eficiencia.

Chile se halla más próximo a Sudamérica en este índice. Chile para generar riqueza económica necesita remover y transformar mucha materia y energía, esto es evidente considerando la estructura productiva de Chile donde el sector minero, forestar, agrícola y pesquero tienen un fuerte peso. Por esto, en territorio chileno para generar 1 U\$ se requiere remover mucho material hasta obtener los productos finalizados, esto queda patente en las externalidades ambientales en la zona de extracción de los sectores mencionados. El procesamiento intensivo de recursos naturales, hace que la relación huella ecológica / PIB de Chile es mayor en relación a países más desarrollados como Dinamarca y Holanda. No solo en la huella ecológica, sino también en otros indicadores de eficiencia, como la relación energía/PIB y CO<sub>2</sub>/PIB donde países de Sudamérica, incluido Chile, poseen mayores ratios que los países de la OCDE (Vease IAE, 2010).

Respecto a la densidad de huella ecológica, la OCDE posee una densidad territorial superior a Sudamérica. Estos resultados concuerdan con los pronóstico de Odum (1996) y Jorgensen *et al*, (2000) donde proponen que sistemas más complejos poseen mayor densidad territorial de emergía o de exergía respectivamente. Resultados similares se hallan en Brown *et al.*,

(2009) donde analizó países en términos energéticos y son los países más desarrollados quienes poseen mayor densidad territorial de energía. Huang & Chen (2005) hizo un seguimiento temporal al desarrollo de la ciudad de Taipei, mostrando que Taipei ha incrementado su densidad energética en el tiempo.

La razón en términos económicos está en la composición de las estructuras productivas de los países, donde a mayor desarrollo, mayor es la concentración de bienes de capital de alto valor añadido (maquinaria, tecnología, equipos sofisticados, conocimiento), mayor infraestructura, mayor densidad poblacional, mayor la interconectividad, volviendo más denso el sistema.

Los resultados muestran que la densidad de huella ecológica se relaciona de manera inversa con la intensidad de huella ecológica. Los países de la OCDE poseen mayores densidades y menores intensidades de huella ecológica, mientras que los países de Sudamérica poseen menores densidades y mayores intensidades de huella ecológica. Estos resultados son consistentes con el principio de jerarquías energéticas de (Odum, 1996) que propone que a mayor densidad energética territorial, menor es la relación energía/dinero. Esta tendencia se aprecia de manera empírica en Brown *et al.*, (2009) donde analizó una serie de países en términos energéticos, mostrando que a mayor desarrollo, mayor densidad energética y menor intensidad energética. En dicho trabajo los países de África, quienes poseen las estructuras productivas más rudimentarias, poseen las menores densidades de energía y mayores intensidades energéticas del mundo.

En el índice de densidad de huella ecológica, una observación que llama la atención es el caso de EEUU que aparece al mismo nivel que Sudamérica, lo que no hace mucho sentido. Una causa probable es que las áreas políticas utilizadas en este trabajo y hubiese sido preferible usar las áreas donde efectivamente hay asentamiento humanos. Las áreas políticas no son las más indicadas para evaluar la densidad de huella ecológica ya que la acumulación de huella ecológica o bienes de capital ocurre solo donde hay presencia humana, por lo tanto hubiese sido más pertinente usar el área urbanizada de los países. En los países europeos de la OCDE la diferencia entre el área

política y el área urbana serían menores en relación a países como EEUU o Brasil donde el área política es muchísimo mayor que el área urbanizada. Si se realizará tal corrección, EEUU probablemente aparecería al mismo nivel de la OCDE y no de Sudamérica.

En el índice de complejidad de exportaciones los países mejor evaluados son Alemania y Japón. Sus puntajes indican que ambos poseen mayor diversidad e interconectividad de conocimiento productivo como propone Hausmann & Hidalgo *et al*, (2008). Esto se refleja en la matriz de exportaciones de ambos, caracterizadas por ser las más diversas y sofisticadas, o sea que sus exportaciones son diversas y con alto valor añadido.

En términos energéticos de Odum (1996), esta mayor diversidad y conectividad de conocimiento productivo en países desarrollados corresponde a una estrategia de los sistemas para incrementar su densidad emergética mediante el incremento de redes y número de conexiones entre las partes del sistema.

Al otro extremo está Venezuela que posee una baja complejidad en sus exportaciones (exportaciones poco diversas y sofisticadas) que en gran parte es solo petróleo. Practicamente todos los ingresos de Venezuela dependen del petróleo. En este índice Chile aparece detrás de varios países de Sudamérica, indicando una menor complejidad a pesar de poseer mayor PIB per cápita. Este hecho pone en evidencia que la diversidad y conectividad de conocimiento productivo en Chile poseen un rol secundario en la producción de riqueza, ya que esta proviene mayormente de los recursos naturales. Casos similares a Chile son Venezuela y países petroleros de medio oriente que gozan de un bienestar solo a causa de los precios del petróleo. Si se pudiera visualizar la estructura productiva mediante redes, Chile figuraría como una red con pocos nodos, relativamente similares y poco conectados, en cambio los países más complejos figurarían como una red con muchos nodos, altamente diversos y muy conectados.

Las tendencias observadas en los países analizados coinciden con los patrones descritos por Jorgensen *et al*, (2000) donde proponen que a medida



que los sistemas económicos maduran se incrementa la presencia de redes, conectividad e información de las partes constituyentes. Además este incremento de redes e información, va ligado a una mayor eficiencia y a una mayor concentración de exergía por unida de biomasa. Los resultados también coinciden con los patrones propuestos por Odum (1996) donde propone que ha medida que un sistema económico madura, se incrementa la información al interior, la relación emergía/dinero decrece, la densidad territorial de emergía se incrementa.

Los resultados obtenidos con los índices propuestos, indican que mientras mas desarrollados son los países, mayor es la diversidad e interconectividad de conocimiento productivo, menor es la relación huella ecológica/dinero y mayor la densidad territorial de huella ecológica. Además estos índices, desde una perspectiva de teoría de sistemas, entregan otra manera de diferenciar entre países desarrollados y no desarrollados. Ya no por el PIB, ni por el IDH como se hace tradicionalmente, sino mediante su grado de complejidad física.

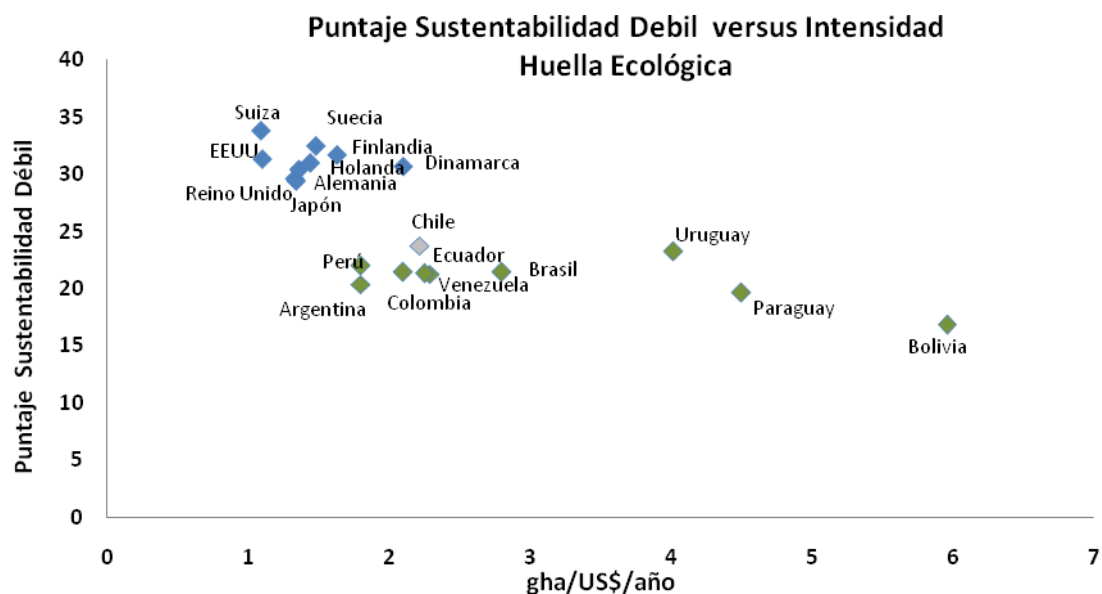
## 5.5. RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD Y COMPLEJIDAD

A continuación, en la última parte de este trabajo se relacionan los índices de sustentabilidad (débil y fuerte) versus los índices de complejidad presentados.

**Tabla 36.** Matriz de datos para determinar relación entre índices de sustentabilidad e índices de complejidad.

Matriz Índices de Complejidad de países y sumatoria en ISD e ISF					
Países	Intensidad de Huella Ecológica	Densidad de Huella Ecológica	Complejidad Exportaciones	Sumatoria ISD	Sumatoria ISF
Paraguay	4,5	48,075	1,526	19,649	24,82
Bolivia	5,96	22,27	1,121	16,832	29,03
Ecuador	2,29	88,91	1,381	21,26	23,93
Venezuela	2,25	87,23	0,891	21,356	20,73
Perú	1,8	34,16	1,424	20,365	25,81
Argentina	1,8	36,93	2,106	22,025	24
Uruguay	4,02	97,23	2,109	23,25	19,38
Brasil	2,8	64,97	2,244	21,437	25,28
Colombia	2,1	72,84	2,2	21,416	26,2
Chile	2,22	71,3	1,688	23,759	20,74
Holanda	1,44	2433,71	3,044	30,99	13,63
Reino Unido	1,33	1227,07	3,558	29,597	15,54
Japón	1,34	1594,54	4,316	29,4	15,22
Finlandia	1,63	96,19	3,715	31,689	15,26
Alemania	1,36	1171,6	3,985	30,407	15,22
Suecia	1,48	119,61	3,859	32,478	18,35
Dinamarca	2,1	1044,62	3,267	30,671	11,46
Suiza	1,09	913,35	3,935	33,819	17,21
EEUU	1,1	251,29	3,447	31,322	6,37

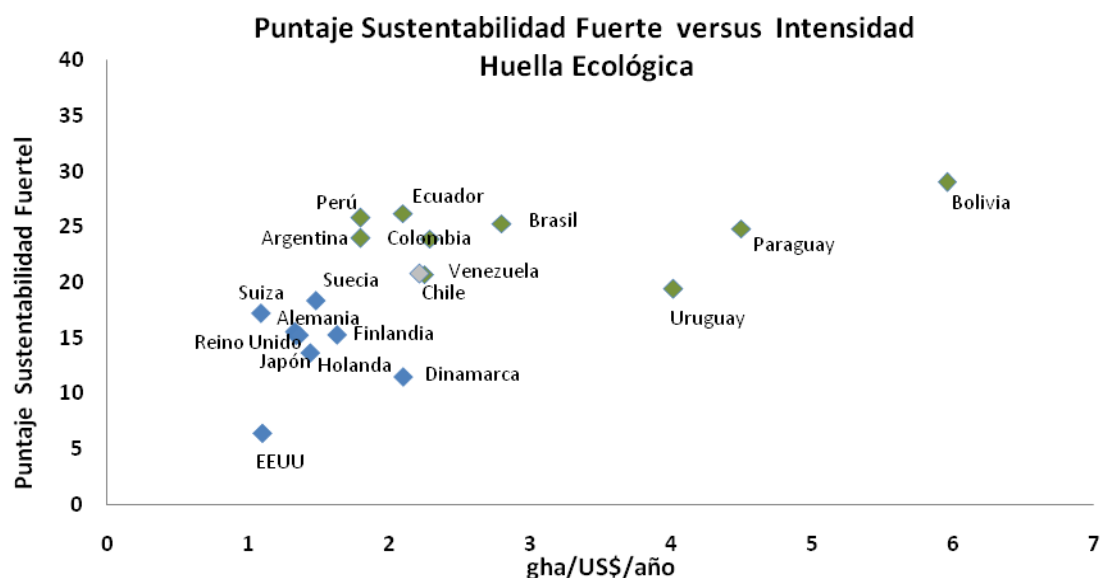
La tabla 36 muestra los países y sus valores en los 3 índices de complejidad. También muestra la sumatoria obtenida por cada país en los 4 índices de sustentabilidad débil y en los 4 índices de sustentabilidad fuerte. Esta sumatoria tiene un máximo de 40 correspondiente al valor de 10 (sustentabilidad óptima) que puede obtenerse en cada índice.



**Figura 63.** Relación sustentabilidad débil versus intensidad de huella ecológica

La figura 63 muestra la relación entre la sustentabilidad débil y la intensidad de huella ecológica. Se obtiene una relación negativa de  $R = -0,52$ . La tendencia es que a mayor intensidad de huella ecológica menor es el desempeño en la sustentabilidad débil. En otras palabras, a menor eficiencia, menor sustentabilidad débil. El grupo de la OCDE posee una menor intensidad de huella ecológica (mayor eficiencia) y simultáneamente posee mayor sustentabilidad débil.

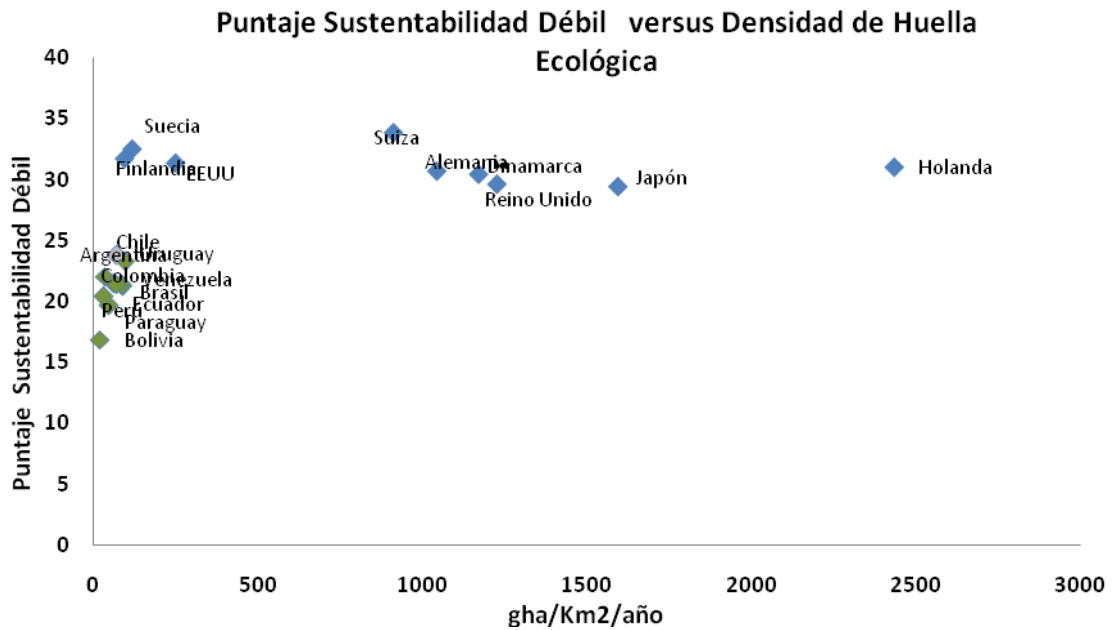
Destaca Suiza que obtiene la menor intensidad de huella ecológica siendo el país más eficiente y también el más sustentable en el sentido débil. Por otra parte está Bolivia que obtiene la mayor intensidad de huella ecológica y menor sustentabilidad en el sentido débil. Chile se posee una intensidad y una sustentabilidad débil más próxima a Sudamérica.



**Figura 64.** Relación sustentabilidad fuerte versus intensidad de huella ecológica

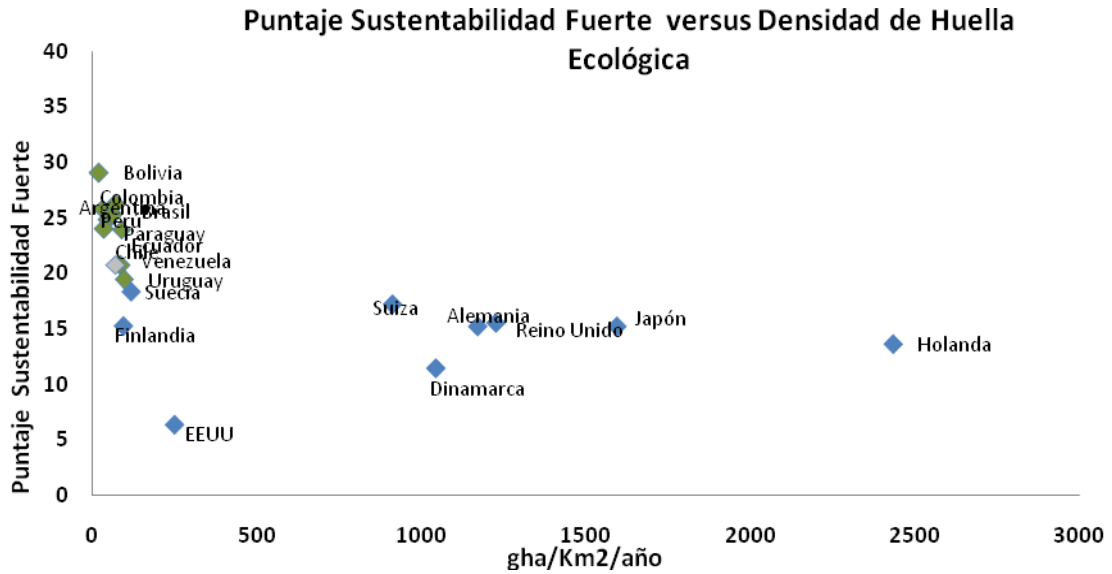
La figura 64 muestra la relación entre la sustentabilidad fuerte y la intensidad de huella ecológica. Se obtiene una relación positiva de  $R = 0,37$ . La tendencia es que a mayor intensidad de huella ecológica mayor es la sustentabilidad fuerte. Los países con mayor intensidad de huella ecológica logran mejores resultados en los índices de sustentabilidad fuerte.

Destaca Bolivia como el país más sustentable en el sentido fuerte, si bien posee la menor eficiencia, no es problema ya que el consumo total de recursos por habitante es bajo, por lo que su baja eficiencia no es relevante. EEUU y Dinamarca son los más eficientes y también son los menos sustentables en el sentido fuerte.



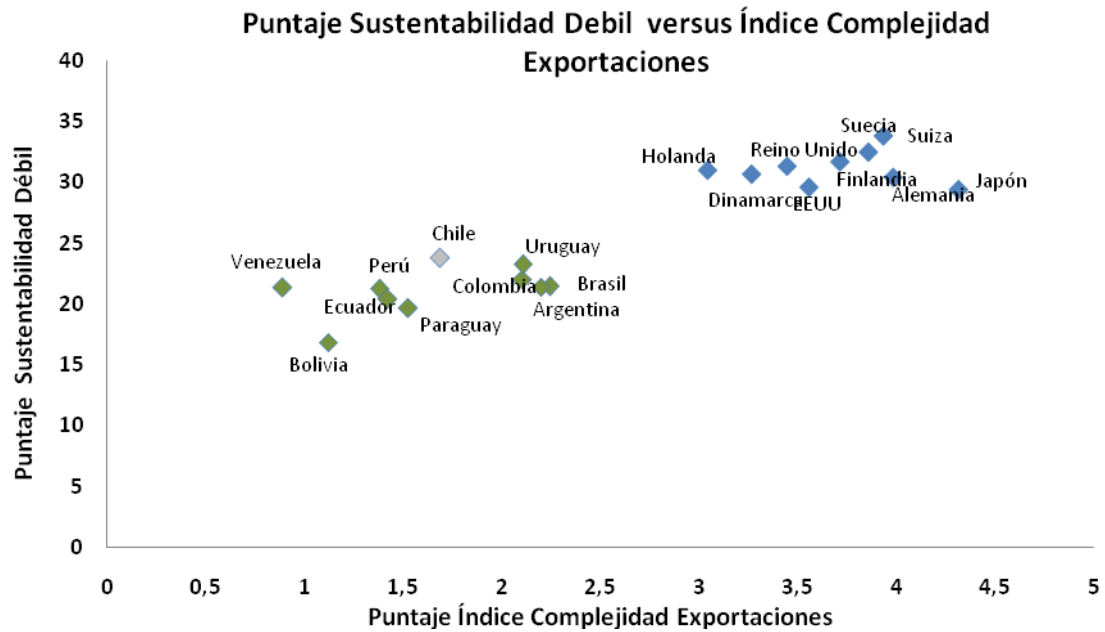
**Figura 65.** Relación sustentabilidad débil versus densidad de huella ecológica

La figura 65 muestra la relación entre la sumatoria en los Índices de Sustentabilidad Fuerte y la Intensidad de Huella Ecológica de los países. Se obtiene una relación positiva de  $R = 0,36$ . En general Sudamérica posee menor densidad que la OCDE y también una menor sustentabilidad débil. Por otra parte, todos los países de la OCDE poseen mejor sustentabilidad débil que Sudamérica, y a excepción de Finlandia, Suecia y EEUU, todos los países de la OCDE poseen mayor densidad territorial de huella ecológica en relación a Sudamérica.



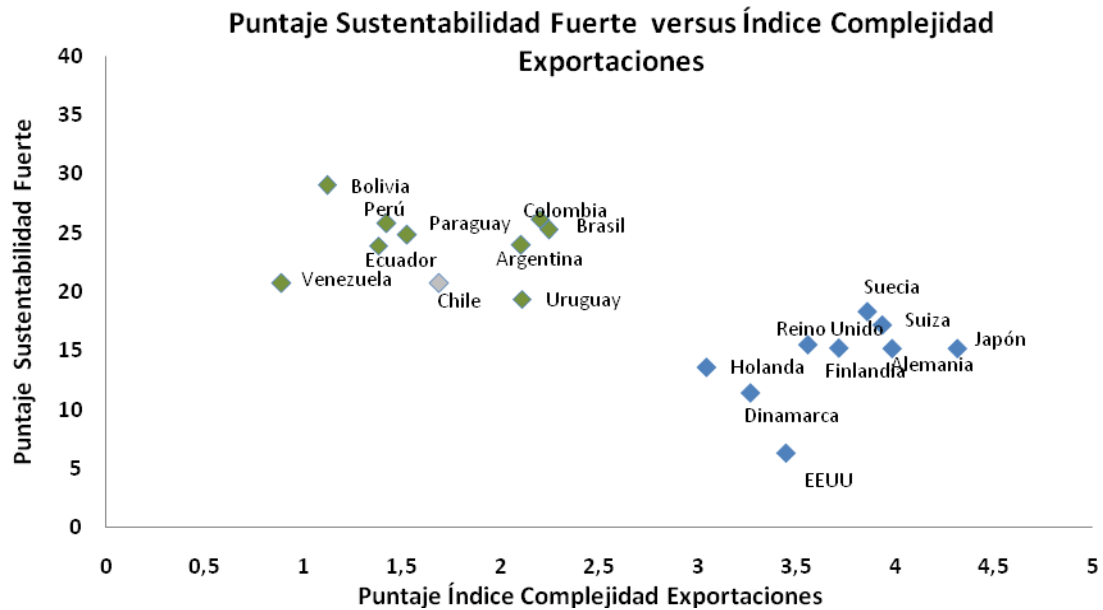
**Figura 66.** Relación sustentabilidad fuerte versus densidad de huella ecológica

La figura 66 muestra la relación entre la Sustentabilidad Fuerte y la Intensidad de Huella Ecológica de los países. Se obtiene una relación negativa de  $R = -0,32$ . En general los países de Sudamérica poseen mejor sustentabilidad fuerte y también una menor densidad territorial de huella ecológica. Por otra parte, todos los países de la OCDE poseen alta densidad territorial de huella ecológica y también una menor sustentabilidad en el sentido fuerte.



**Figura 67.** Relación sustentabilidad débil versus índice de complejidad

La figura 67 muestra la relación entre la Sustentabilidad Débil y el Índice de complejidad. Se obtiene una relación positiva de  $R = 0,84$  indicando una fuerte relación entre ambas, En este índice se obtiene la mejor relación. Se puede decir que a mayor complejidad en las exportaciones, o sea mayor diversidad y conectividad de conocimiento productivo, mejor son las evaluaciones en la sustentabilidad débil. Destacan Suiza, Japón y Suecia como los más sustentables en el sentido débil y los más ricos en conocimiento productivo. Al otro extremo, los países con menor complejidad de exportaciones como Venezuela y Bolivia poseen son los menos sustentables en el sentido débil.



**Figura 68.** Relación sustentabilidad fuerte versus índice de complejidad exportaciones.

La figura 68 muestra la relación entre los índices de sustentabilidad fuerte y el índice de complejidad de exportaciones. Se obtiene una relación negativa de  $R = -0,55$ . En general mientras más complejas las exportaciones, menor es la sustentabilidad en el sentido fuerte. El grupo de la OCDE posee exportaciones más complejas y también las menores calificaciones en los índices de sustentabilidad fuerte. Destaca Bolivia y Venezuela que por una parte son sustentables en el sentido fuerte y por la otra parte, son los países que poseen menos conocimiento productivo en relación a los demás países, reflejando indirectamente la estructura productiva intensiva en recursos naturales exportados con bajo valor añadido.



### **5.5.1. DISCUSIÓN SOBRE RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE SUSTENTABILIDAD E ÍNDICES DE COMPLEJIDAD.**

El sentido o signo de las relaciones se cumplió para todos los índices, respecto a las correlaciones, estas se consideran aceptables considerando la naturaleza de este trabajo, ya que al evaluar sistemas sociales, no es posible aislar las variables para reducir el efecto de variables externas como si es posible en laboratorio, donde las variables pueden ser controladas y donde la exigencia en la correlación entre dos variables es mayor. Por lo tanto se concluye que los resultados si apoyan la hipótesis, sin embargo se propone que si se realiza el mismo trabajo con una mayor cantidad de países, las relaciones serían mayores.

La densidad territorial de huella ecológica presentó las relaciones más bajas con la sustentabilidad débil y fuerte, aunque si mantuvo el signo de las relaciones esperadas, correspondiente a una relación positiva con la sustentabilidad débil y una relación negativa con la sustentabilidad fuerte. Posiblemente la razón de la baja correlación, es que se utilizó las áreas territoriales políticas, hubiese sido más pertinente usar las áreas urbanizadas ya que solo donde existe presencia humana puede ocurrir un incremento de la densidad territorial de huella ecológica. Se propone que mediante tal corrección y trabajando con un mayor número de países, las relaciones positivas serían más significativas, no solo para el índice de densidad de huella ecológica, sino para todos los índices. Sin embargo el sentido de las relaciones se cumplió como se esperaba

La OCDE posee mayor densidad territorial de huella ecológica en relación a Sudamérica, y a la vez posee una mayor sustentabilidad débil. Esto tiene sentido y la razón estaría en que mayor densidad territorial de huella ecológica indica mayor actividad económica y concentración de bienes de capital (carreteras, edificios, vehículos, equipos, maquinaria, tecnologías, herramientas, etcétera), en otras palabras representa mayor riqueza económica. Y es precisamente la riqueza económica, la presencia de bienes de capital, lo que permite lograr buenos resultados en los índices de

sustentabilidad débil, mejorando la calidad ambiental local y bienestar social local.

En contraste, Sudamérica posee una baja densidad territorial de huella ecológica y simultáneamente mayor sustentabilidad fuerte. La razón sería que su baja densidad territorial de huella ecológica refleja menor presencia de bienes de capital en su territorio y menor riqueza económica. En otras palabras, su menor densidad de huella ecológica corresponde a un menor consumo de recursos naturales comunes, lo que es premiado por los índices de sustentabilidad fuerte. Por ejemplo Bolivia es quien posee la menor densidad territorial de huella ecológica y a la vez está posee las mejores evaluaciones en los índices de sustentabilidad fuerte como. Es un país que posee una baja huella ecológica, bajas emisiones de gases invernadero y alta independencia ecológica.

La OCDE posee mayor acumulación, diversidad y conectividad de conocimiento productivo y a la vez posee mayor sustentabilidad débil. La razón nuevamente estaría en una mayor disposición de bienes de capital, ya que a mayor crecimiento económico, la estructura productiva sufre cambios cualitativos haciéndose rica en tecnología y diversidad de conocimiento, resultando en una matriz de exportaciones más diversa y sofisticada. En términos energéticos equivale a un incremento de las redes, conexiones e información en los sistemas como describe Jorgensen *et al*, (2000) y como propone Odum (1996) son sistemas que se ubican en un nivel mayor en la jerarquía energética. En términos económicos esto significa que estos países pueden disponer más fácilmente de medios para invertir en mejoramiento de la calidad ambiental y social de su población mejorando sus índices de sustentabilidad débil. Suiza, Japón y Suecia disponen de más bienes de capital, en particular capital humano, lo que permite una matriz de exportaciones más diversa y sofisticada, la cual no sería posible en países con ausencia de equipos, maquinarias, tecnología requeridos ofrecer una buena calidad de vida a su población.

Por otra parte, Sudamérica posee una baja complejidad de exportaciones, o sea baja acumulación y diversidad de conocimiento productivo en relación a la OCDE y a la vez posee mayor sustentabilidad fuerte. Su baja complejidad indica una estructura productiva más rudimentaría, pobre en bienes de capital, con menores emisiones, demandando menos naturaleza para ser sostenida, lo que se traduce en mejores valores en los índices de sustentabilidad fuerte.

La OCDE posee menor intensidad de huella ecológica o menor huella ecológica específica por unidad de US\$ y a la vez posee mayor sustentabilidad débil. La razón estaría también en su mayor disposición de bienes de capital, que permite que su estructura productiva sea más eficiente, al disponer de mejores tecnologías desperdicia menos recursos a la hora de generar riqueza económica, lo que se traduce en una menor huella ecológica para generar una unidad de dólar.

Por otra parte, Sudamérica posee mayor intensidad de huella ecológica o mayor huella ecológica específica por unidad de US\$ y simultáneamente posee una mayor sustentabilidad fuerte. La conexión estaría en la ausencia de bienes de capital (tecnología y conocimiento), resultando en una estructura económica más básica, económicamente ineficiente e intensivas en procesamiento de energía y materia, desperdiciando más recursos para generar riqueza económica, lo que se traduce en una mayor huella ecológica para generar una unidad de dólar.

Como se aprecia, desde una visión puramente económica, la presencia de bienes de capital en un territorio explica gran parte de los resultados, independiente de la opción política, ya sea de libre mercado o planificación central, ya que ambas para ofrecer mejor calidad de vida requieren incrementar sus bienes de capital. A medida que aumenta la disposición de bienes de capital los sistemas se hacen más complejos, no sufren solo cambios cuantitativos estructurales, sino que también sufren cambios cualitativos, cambia la configuración interna de la estructura productiva que en este trabajo se manifiesta mediante: 1) incremento de la densidad territorial de huella ecológica. 2) Incremento de la conectividad y acumulación de conocimiento

productivo. 3) Decrecimiento de la relación huella ecológica/dinero o intensidad de huella ecológica, lo que hace más eficientes a los países en la transformación de riqueza natural a riqueza económica.

Estos resultados concuerdan con los patrones descritos por Odum, (1996; 2001; 2007) que propone que en los sistemas económicos más complejos, mayor es la densidad emergética, mayor el número de conexiones e información y menor la relación energía/dinero. También concuerda con la propuesta de Fath *et al* (2004) y Jorgensen *et al*, (2000) que dicen que estos sistemas se hacen más eficientes transitando desde un estado de rápido crecimiento estructural pero de baja eficiencia, hacia un estado de lento crecimiento estructural pero de mayor eficiencia.

Acudiendo al principio de jerarquía energética de Odum, (1996), países como Suiza, Japón, Suecia están en un nivel mayor en la jerarquía en relación a países como Perú, Bolivia, Paraguay ya que requieren de mayor energía solar (en forma de bienes de capital) para ser sostenidos.

En relación a los índices de sustentabilidad débil, los altos puntajes, desde una perspectiva sistémica se debe al incremento de complejidad interna. En cambio, en relación a los índices de sustentabilidad fuerte, es precisamente el incremento de complejidad la causante de la insustentabilidad, ya que mayor complejidad si bien implica mejoras en nivel local, estas mejoras son mantenidas por el consumo de recursos naturales externos resultando en un mayor impacto sobre el entorno fuera del sistema y como muestran los resultados, los países con menor complejidad son quienes más aportan la calidad ambiental global ya que consumen muy pocos recursos globales.

Se propone que esta doble perspectiva se debe a que los índices de sustentabilidad débil y fuerte captan y evalúan diferentes efectos del incremento de complejidad de los países. Los resultados sugieren que la sustentabilidad débil se enfoca en los cambios locales, evalúa la calidad ambiental dentro de las fronteras, en este sentido la sustentabilidad débil captura los efectos positivos que tiene el incremento de la complejidad al

interior de la economía. Por otro lado, los resultados sugieren que la sustentabilidad fuerte se enfoca en los cambios externos, evalúa la calidad ambiental fuera de las fronteras, en este sentido la sustentabilidad fuerte captura los efectos negativos que tiene el incremento de complejidad sobre el entorno.

Considerando a los países como estructuras disipativas y recordando la segunda ley de la termodinámica, es posible inferir que los índices de sustentabilidad débil, desde una perspectiva energética, reflejarían la disminución de entropía del sistema, en cambio los índices de sustentabilidad fuerte reflejarían el incremento de entropía del entorno (resultado de la baja entropía local). Por lo tanto, como sugiere la segunda ley, es imposible que un sistema económico reduzca su entropía sin alterar el entorno. En este caso, equivale a decir que es imposible mejorar los índices de sustentabilidad débil sin alterar y reducir los índices de sustentabilidad fuerte. Ambas corrientes son las dos caras de la complejidad y por lo tanto como muestran los resultados, no es posible ser sustentable en ambas corrientes de manera simultánea.

## 6. CONCLUSIONES

1. Los resultados muestran que una aplicación simultánea de índices de sustentabilidad débil y fuerte sobre un país entrega resultados contradictorios sobre el estado de sustentabilidad. Esto impide otorgarle la categoría de sustentable a un país, al menos que se asume previamente una de las corrientes de sustentabilidad. Se sugiere que ambas corrientes son incompatibles por que atienden diferentes dimensiones del desarrollo. Por una parte los índices de sustentabilidad débil, presta atención a la mejora de calidad ambiental local, midiendo los cambios que ocurren dentro de las fronteras del país. Por otra parte, los índices de sustentabilidad fuerte prestan atención a la disminución de calidad ambiental global, midiendo los cambios de calidad ambiental fuera de las fronteras del país.
2. Los resultados muestran que los 3 patrones de complejidad presentados se cumplen según las tendencias esperadas teóricamente. Desde esta perspectiva, dejando de lado una visión económica, la OCDE es más desarrollada respecto a Sudamérica no por tener mayor PIB, sino por presentar mayor complejidad, reflejado en su mayor eficiencia, mayor concentración territorial de huella ecológica y mayor diversidad y conectividad de conocimiento productivo. Estas características implican que el incremento de complejidad de la OCDE requieren disipar si o si más energía y materia del entorno para mantener la coherencia y funcionalidad de sus estructuras internas. Desde una perspectiva termodinámica la mayor complejidad de la OCDE, significa que ésta reduce su entropía local a costa de incrementar la entropía del entorno global.

3. Al relacionar los índices de sustentabilidad y complejidad se cumple la hipótesis esperada. La sustentabilidad débil posee una relación positiva con la complejidad de un país y la sustentabilidad fuerte posee una relación negativa con la complejidad de un país. Aunque el grado de correlación fue relativo, indicando la presencia de variables externas no consideradas, esto era de esperar en un trabajo como esta naturaleza, donde no es posible controlar ni aislar variables, aún así se cumple la hipótesis ya que el sentido de las relaciones se cumplió a cabalidad.
4. Los resultados muestran que Chile tanto desde la perspectiva de la sustentabilidad débil, sustentabilidad fuerte y desde la perspectiva de sistemas complejos, es más similar a Sudamérica. Respecto al futuro de Chile una sustentabilidad en el sentido fuerte se descarta ya que implicaría sugerir políticas de decrecimiento económico y esto es poco probable. Se sugiere que para avanzar en la sustentabilidad débil hace falta que la estructura productiva sea más compleja, de manera que este no sea dependiente de recursos naturales. El desafío para las siguientes décadas está en transitar hacia estructura productiva que dependa más de la diversidad y conectividad de conocimiento productivo y menos del sector minero, forestal, pesquero. Esta transición permitirá menos presiones ambientales sobre territorio local y también más resiliencia ante imprevistos.
5. Finalmente, se sugiere manejar ambos marcos teóricos, el de la sustentabilidad débil y fuerte, ya que el conocimiento de las diferencias entre ambas corrientes de sustentabilidad permitirá obtener una visión más sistémica al momento de abordar conflictos ambientales. También se sugiere el estudio de los sistemas ecológicos y económicos desde la teoría de sistemas, complejidad y termodinámica para comprender mejor el desarrollo de estos sistemas y su relación con el entorno natural.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdallah, S., Thompson, S., Michaelson, J., Marks, N., Steuer. 2009. The Happy Planet Index 2.0. New Economics Foundation.
2. Arbelaez, A., Alberto, F. 2006. Desarrollo Sostenible y sus indicadores. Centro de investigación y documentación socioeconómica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Valle, Colombia.
3. Ayres, R., Nair, I. 1984. Thermodynamics and economics. *Physics Today* 35, 62-71.
4. Ayres, R., Van den Bergh, J., Gowdy, J. 2001. "Strong versus Weak Sustainability: Economics, Natural Sciences and Consilience". *Environmental Ethics* 23, 155-168 pp.
5. Ayres, R. 2007. On the practical limits to substitution. *Ecological Economics* 61, 115-128 pp.
6. Ballesteros M. 2008. Economía ambiental y economía ecológica: Un balance crítico de su relación. *Economía y Sociedad* 33, 55 -65 pp.
7. Baldwin, R. 1995. Does sustainability require growth? In: Goldin, I., Winters, L.A. (Eds.), *The Economics of Sustainable Development*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.
8. Barbier, E. 1989. Economics, natural resource scarcity and development: conventional and alternative views. Earthscan Publishers, London.
9. Batty, M. 2008. The size, scale, and shape of cities. *Science*, 319: 769-771 pp.



10. Bettencourt, L. 2007. Invention in the city: increasing returns to scale in metropolitan patenting, *Research Policy* 36, 107-120 pp.
11. Böhringer, C., Jochem, P. 2007. Measuring the immeasurable - A survey of sustainability indices. *Ecological Economics* 63, 1-8 pp.
12. Brown, M., Cohen, M., Sweeney, S. 2009. Predicting national sustainability: The convergence of energetic, economic and environmental realities. *Ecological Modelling* 220, 3424 - 3428 pp.
13. Buenstorf, G. 2000. Self-organization and sustainability: energetics of evolution and implications for ecological economics. *Ecological Economics* 33, 119-134 pp.
14. Burness, S., Cummings, R., Morris, G., Paik, I. 1980. Thermodynamics and economic concepts as related to resource-use policies. *Land Economics* 56, 1–9 pp.
15. Cabezas, M. 1996. The concept of weak sustainability. *Ecological Economics*, 17, 147-156 pp.
16. Cabezas, H., Pawlowski, C., Mayer, A., Hoagland, N. 2003. Sustainability: ecological, social, economic, technological, and systems perspectives. *Clean Technologies and Environmental Policy* 5, 167–80 pp.
17. Chen, Y. 2012. The rank-size scaling law and entropy maximizing principle. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 39, 767-778 pp.
18. Clarke, M., Islam, S. 2006. National Account measures and sustainability objectives: present approaches and future prospects. *Sustainable Development*, 14, 219–33.
19. Cleveland, C., Costanza, R., Hall, C., Kaufmann, R. 1984. Energy and the US economy: a biophysical perspective. *Science* 225, 890–897.
20. Cleveland, C., Ruth, M. 1997. When, Where, and By How Much Do Biophysical Limits Constrain the Economic Process? A Survey of

Nicholas Georgescu-Roegen's Contribution to Ecological Economics.  
*Ecological Economics*, 22: 203-223

21. Cleveland, C. 2003. Biophysical constraints to economic growth. In D. AlGobaisi, Editor-in-Chief. *Encyclopedia of Life Support Systems*, (EOLSS Publishers Co., Oxford, UK).
22. Cobb, C., Halstead, E., Rowe, J. (Eds.), 1995. *The Genuine Progress Indicator — Summary of Data and Methodology*. Redefining Progress, Washington, D.C.
23. Costanza, R. 1980. Embodied energy and economic valuation. *Science* 210, 1219–1224 pp.
24. Costanza, R. 1991. *Ecological economics: the science and management of sustainability*. Columbia University Press, New York.
25. Costanza, R., Daly, H. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6, 37-46 pp.
26. Dasgupta, P., Maler, K. 1990. The environment and the emerging development issues. *Proceedings of the World Bank Conference on Development Economics*. The World Bank, Washington, D.C.
27. Daly, H., Cobb, J. 1989. *For the common good: redirecting the economy towards community, the environment and a sustainable future*. Beacon Press, Boston.
28. Daly, H. 1991a. *Steady-State Economics*. Second edition with new essays. Island Press, Washington, D.C., Covelo, CA.
29. Daly, H. 1991b. 'Elements of environmental macroeconomics', in: Robert Costanza (ed.), *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York.
30. Dasgupta, P., Heal G. 1974. The Optimal Depletion of Exhaustible Resources. *Review of Economic Studies*, Vol. 41, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, 3-28 pp.

31. Dasgupta, S., Laplante, B., Wang H., Wheeler D. 2002. Confronting the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Economic Perspectives* 16, 147-168 pp.
32. Davies, G. 2013. Appraising Weak and Strong Sustainability: Searching for a Middle Ground. *The Journal of Sustainable Development* 10, 111-124 pp.
33. De Groot, R., Gómez-Baggethun, E. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* 16, 4 – 14 pp.
34. Del Saz S., 2008. Medio Ambiente y Desarrollo: Una revisión conceptual. CIRIEC-España, *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, 61, 31-49 pp.
35. Dinda, S. 2004. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*. 49, 431-455 pp.
36. Dresner, S., 2002. *The Principles of Sustainability*. Earthscan Publications Ltd., London.
37. Eidelson R., 1997. Complex Adaptive Systems in the Behavioral and Social Sciences. *Review of general Psychology* 1, 42 -71 pp.
38. Ewing B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A. & Wackernagel, M. 2010. *The Ecological Footprint Atlas 2010*. Oakland: Global Footprint Network.
39. Ekins, P. 1997. The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. *Environment and Planning* 29, 805-830 pp.
40. Esty, D., Levy, M., Kim, C., Sherbinin, A., Srebotnjak, T., Mara, V. 2008. *2008 Environmental Performance Index*. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy.
41. Fath, B., Jorgensen, S., Patten, B., Strakraba, M. 2004. Ecosystem growth and development. *BioSystem* 77, 213-228 pp.

42. Faucheux, S. O'Connor, M. 1997. Weak and strong sustainability. In : Faucheux, S. and O'Connor, M. (Editors): Valuation for sustainable development: Methods and policy indicators. Aldershot, Edward Elgar.
43. Figueroa, M., Gomez, S. 2007. Los sumideros naturales de CO<sub>2</sub>: una estrategia sostenible entre el cambio climático y el Protocolo de Kyoto desde las perspectivas urbana y territorial. Ilustrada. Sevilla.
44. Foster, J. 2011. Energy aesthetics and knowledge in complex economic systems. *Journal of Economic Behavior & Organization* 80, 88-100 pp.
45. Gasparatos, A., El-Harman, M., Horner, M. 2008 A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability. *Environmental Impact Assessment Review* 28, 286-311 pp.
46. Georgescu-Roegen, N. 1971. Entropy law and the economic process. Cambridge, Harvard University Press.
47. Gilliland, M. 1975. Energy analysis and public policy. *Science* 189, 1051–1056 pp.
48. Gitli, E., & Hernández, G. 2002. La existencia de la Curva Ambiental de Kuznets Ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales. Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible. Universidad Nacional de Costa Rica.
49. Gowdy, J., & O'Hara, S., 1997. Weak Sustainability and viable technologies. *Ecological Economics* 22, 239-247 pp.
50. Gowdy, J. & Erickson, J. 2005. The approach of ecological economics. *Cambridge Journal of Economics* 29, 207-222 pp.
51. Grossman, G., Krueger, A. 1995. Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110, 353 – 377 pp.
52. Grossman, G. 1995. Pollution and growth: what do we know? In I. Goldin, & L. A. Winters (Eds.), the economics of sustainable development (pp. 19-45) Cambridge University Press.

53. Gutés, M. 1996. The concept of weak sustainability. *Ecological Economics* 17, 147–156 pp.
54. Hall, C., Cleveland, C., Kaufmann, K. 1992. Energy and Resource Quality: The Ecology of the Economic Process. University of Colorado Press, Colorado.
55. Hanley, N., 2000. Macroeconomic measures of “sustainability”. *Journal of Economic Surveys* 14, 1–30 pp.
56. Hamilton, K., 1994. Green adjustments to GDP. *Resources Policy* 20, 155–168 pp.
57. Hartwick, J. 1977. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review* 67, 972–4 pp.
58. Hartwick, J. 1978a. Substitution among exhaustible resources and intergenerational equity. *The Review of Economic Studies* 45, 347–54 pp.
59. Hartwick, J. 1978b Investing returns from depleting renewable resources stocks and intergenerational equity. *Economics Letters* 1, 85–8 pp.
60. Hartwick, J. 1992. Deforestation and national accounting. *Environmental and Resource Economics* 2, 513–21pp.
61. Hausmann, R., Hidalgo, C., Bustos, S., Cocsia, M., Chung, S., Jimenez, J., Simoes, A., Yildirim, M., 2011. The Atlas of Economic Complexity: Mapphin paths to prosperity. Puritan Press. Cambridge.
62. Hezri, A., Dovers, S. 2006. Sustainability indicators, policy and governance: issues for ecological economics. *Ecological Economics* 60, 86-99
63. Holland J. 1988. ‘The Global Economy as an Adaptive Process’; in Anderson P., K. Arrow and D. Pines, The Economy as an Evolving Complex System, Proceedings of the Evolutionary.

64. Huang, S., 1998. Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis. *Journal of Environmental Management* 52, 39– 51 pp.
65. Huang, S., Kao, W., Lee, C. 2007. Energetic mechanisms and development of an urban landscape system. *Ecological Modelling* 201, 495-506 pp.
66. Isalge, A., Coch, H., Serra, R. 2007. Scaling law and the modern city. *Physica A* 382, 643-649 pp.
67. Illge, L., Schwarze, R. 2006. A Matter of Opinion: How Ecological and Neoclassical Environmental Economists Think about Sustainability and Economics, DIW-Diskussionspapiere, No. 619
68. Jiang M., Zhou J., Chen B., & Chen G., 2008. Energy Based ecological account for the Chinese economy in 2004. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 13, 2337 – 2356 pp.
69. Jørgensen S., Patten B., & Straskraba M. 1999. Ecosystems emerging: 3. Oponness. *Ecological Modelling* 117, 41-64 pp.
70. Jørgensen S., Patten, B., & Straškraba, M., 2000. Ecosystems emerging. 4. Growth. *Ecol. Model.* 126, 249–284 pp.
71. Kay, J., 1984. Self-organization in living systems. Ph.D. thesis, University of Waterloo, Waterloo.
72. Krugman, P. 1996. Confronting the mystery of urban hierarchy. *Journal of the Japanese and international economies* 10, 399-418 pp.
73. Klaassen, G., Opschoor, J. 1991. Economics of sustainability or the sustainability of economics: different paradigms. *Ecological Economics* 4, 93-115 pp.
74. International Energy Agency 2010. CO2 emission from fuel combustion.
75. Lammer, S., Gehlsen, B & Helbing, D. 2006. Scaling laws in the spatial structure of urban road networks. *Physica A* 363, 89-95 pp.

76. Larraín, F., Sachs, J. 2002. Macroeconomía en la economía global. Pearson Educación. Buenos Aires.
77. Latouche S., 2008. La apuesta por el decrecimiento: ¿Cómo salir del imaginario dominante? Editorial Icaria. Barcelona.
78. Lawn, P. 2007. Stock-take of green national accounting initiatives. *Social Indicators Research* 80, 427–60 pp.
79. Lee, Y., Yeh, C., Huang, S. 2013. Energy Hierarchy and landscape sustainability. *Landscape Ecology* 28, 1151-1159 pp.
80. Liu, G., Yang, F., Chen, Y., Zhang, Y., Zhang, L., Zhao, Y., Jiang, M. 2009. Energy-Based urban ecosystem health assessment: A case study of Baotou, China. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14, 972-981 pp.
81. Lomas P., 2009. Aportaciones de la Síntesis Emergética a la evaluación multi-escalar del empleo de los servicios de los ecosistemas a través de casos de estudio. Tesis Doctoral. Departamento de Ecología, Universidad Autónoma de Madrid.
82. Lomborg, Bjorn. 2001. The skeptical environmentalist: Measuring the real state of the world. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
83. Lomborg, Bjorn. 2004. Global crises, global solutions. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
84. Marques J., Pardal M., Nielsen S., & Jorgensen, S. 1997. Analysis of the properties of exergy and biodiversity along an estuarine gradient of eutrophication. *Ecological Modelling*. 102, 155 -167 pp.
85. Martinez-Alier J., 1998. Curso Economía Ecológica. Red de Formación Ambiental. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
86. Martinez-Alier, J., Munda, G. and O'Neill, J., 1998. Weak comparability of values as a foundation for ecological economics. *Ecological Economics* 26, 277-286 pp.

87. Martínez Alier, J. 2005. *El Ecologismo de los Pobres. Conflictos Ambientales y Lenguajes de Valoración*. Icaria. Barcelona.
88. Matutinovic, I. 2002. Organizational patterns of economies: an ecological perspective. *Ecological Economics* 40, 421-440 pp.
89. Mayer, A., Thurston, H., Pawlowski, C. 2004. The multidisciplinary influence of common sustainability indices. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2, 419–26 pp.
90. Mayer, A. 2008. Strengths and weaknesses of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environment International* 34, 277-291 pp.
91. Ming, J., Zhan-Ming, C., Bo, Z., Cheng, L., Hua, X., Yi, Z., Bo, Z.J. 2010. Ecological Economic Evaluation Based on Emergy as Embodied Cosmic Exergy: A Historical Study for the Beijing Urban Ecosystem 1978-2004. *Entropy* 12, 1696-1720 pp.
92. Moran, D., Wackernagel, M., Kitzes, J., Goldfinger, S., Boutaud, A. 2008. Measuring sustainable development — Nation by nation. *Ecological Economics* 64, 470 – 474 pp.
93. Munda, G., Nijkamp, P., Rietveld, P. 1994. Qualitative multi-criteria evaluation for environmental management. *Ecological Economics* 10, 97-112 pp.
94. Munda, G., 1997. Environmental Economics, Ecological Economics, and the Concept of Sustainable Development. *Environmental Values* 6, 213-233 pp.
95. Neumayer, E. 2003. *Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms*. Second ed. Cheltenham: Edward Elgar.
96. Ness, B., E. Urbel-Piirsalu, S. Anderberg, L. Olsson. 2007. Categorizing tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498-508 pp.



97. Nilsen, R. 2010. The joint discourse “reflexive sustainable development” – From weak towards strong sustainable development. *Ecological Economics* 69, 495 – 501 pp.
98. Nourry, M. 2008. Measuring sustainable development: Some empirical evidence for France from eight alternative indicators. *Ecological Economics* 67, 441-456 pp.
99. Odum E. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164, 262–270 pp.
100. Odum, H. 1983. *Systems Ecology: An Introduction*. Wiley, New York.
101. Odum, H. 1996. *Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making*. Center for Environmental Policy. University of Florida, Gainesville.
102. Odum H. 2001. Energy, Hierarchy and Money. *Understanding complexity*. 139-148 pp.
103. Odum H., 2007. *Environment, power, and Society for the twenty – first century: the hierarchy of energy*. Columbia University Press.
104. Oras, K. 2005. Which policy frameworks matter and how to describe them: indicators linking the Lisbon strategy, sustainable development and the MDGs. New York: Statistical Commission and Economic Commission for Europe, UNESC.
105. Panayotou, T., 1993. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. Working Paper, Technology and Environment Programme, International Labour Office, Geneva, January.
106. Parris, T., Kates, R. 2003. Characterizing and measuring sustainable development. *Annual Review of Environmental Resources* 28, 1–28 pp.
107. Pearce, D., Atkinson, G. 1993. Capital theory and the measurement of sustainable development, an indicator of “weak” sustainability, *Ecological Economics* 8,103-108 pp.

108. Pearce, D., Turner, R. 1990. Economics of Natural Resources and the Environment. Harvester Wheatsheaf, Londres.
109. Pezzey, J. 1989. Economic analysis of sustainable growth and sustainable development. Environment Department working paper 15. World Bank
110. Pezzey, J., Toman, M. 2002. Sustainability and its interpretations. Paper read at Scarcity and Growth in the New Millennium 18-19 pp.
111. Pezzoli, K. 1997. Sustainable development: a transdisciplinary overview of the literature. *Journal of Environmental Planning and Management* 40, 549–74 pp.
112. Pillarisetti, J. 2005. The World Bank's 'genuine savings' measure and sustainability. *Ecological Economics* 55, 599–609 pp.
113. Pillarisetti, J., Van der Bergh. J. 2010. Sustainable nations: what do aggregate indexes tell us? *Environmental Development Sustainable* 12, 49 -62 pp.
114. PUND (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2010. Informe de Desarrollo Humano.
115. Pulselli, R., Ciampalini, F., Galli, A., & Pulselli, F., 2006. Non equilibrium Thermodynamics and the city: A new approach to urban studies. *Annali di Chimica* 96, 543-552 pp.
116. Raine A., Foster J., & Potts J., 2006. The new entropy law and the economic process. *Ecological Complexity*. 3, 354-360 pp.
117. Ruth, M. 1995. Information, order and knowledge in economic and ecological systems: implications for material and energy use. *Ecological economics* 13, 99-114 pp.
118. Samaniego, H., Moses, M. 2008. Cities as organisms: Allometric scaling of urban road networks, *Journal of Transport and Land Use* 1, 21–39 pp.

119. Seldon, T., Song, D. 1994. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution? *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 147-162 pp.
120. Shafik, N. 1994. Economic development and environmental quality: an econometric analysis. *Oxford Economic Papers* 46, 757-773 pp.
121. Simon, J. 1980. Resources, population, environment: an oversupply of false bad news. *Science* 208, 1431–1437pp.
122. Simon, J. 1981. *The ultimate resource*. Princeton University Press, Princeton NJ.
123. Slessor, M. 1973. Energy analysis in policy making. *New Scientist* 58, 328–330 pp.
124. Solé, T., Capdevila, R. 2009. El desarrollo humano: perfiles y perspectivas futuras. *Estudios de economía aplicada* 27, 545-562 pp.
125. Sollner, F. 1997. A reexamination of the role of thermodynamics for environmental economics. *Ecological Economics* 22, 175–201 pp.
126. Solow, R. 1974a. Intergenerational equity and exhaustible resources. *The Review of Economic Studies* 41, 29–45 pp.
127. Solow, R. 1974b. The economics of resource or the resources of economics. *The American Economic Review* 64, 1–14 pp.
128. Solow, R. 1986. On the intergenerational allocation of natural resources. *Scandinavian Journal of Economics* 88, 141–9 pp.
129. Solow, R. 1991. “Sustainability: an economist perspective”, In Dorfman, Robert y Nancy Dorfman (1993), *Economics of the environment*, New York: Norton.

130. Solow, R. 1992. An almost practical step toward sustainability. An invited lecture on the occasion of the fortieth anniversary of resources for the future. 8th October 1992.
131. Solow, R. 1993. An almost practical step towards sustainability. *Resource Policy* 19, 162–72 pp.
132. Stern, D. 1997. Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: a neoclassical interpretation of ecological economics. *Ecological Economics* 21, 197-215 pp.
133. Sutton, P. 2003. An empirical environmental Sustainability Index derived solely from nighttime satellite imagery and ecosystem service valuation. *Population and Environment* 24, 293–311 pp.
134. Suri, V., Chapman, D. 1998. Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics* 25, 195 -208 pp.
135. Van der berg, J. 2009. The GDP paradox. *Journal of Economic Psychology* 30, 117 – 135 pp.
136. Van de kerk, G., Manuel, A. 2008. A comprehensive index for a Sustainable society: The SSI - the Sustainable Society Index. *Ecological Economics*. 66, 228–242 pp.
137. Venkatachalam, L. 2007. Environmental economics and ecological economics: Where they can converge? *Ecological Economics* 61, 550-558 pp.
138. Victor, P., Hanna, J., Kubursi, A. 1995. How Strong is Weak Sustainability? *Economie Appliquée*, 48, 75-94 pp.

139. Watanabe, H., Takayasu, H., Takayasu, M. 2013. Relations between allometric scaling and fluctuations in complex systems: The case of Japanese firms. *Physica A* 392, 741-756 pp.
140. Wackernagel, M., W. Rees, 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, BC and Philadelphia, PA.
141. Wiedmann, T., Minx, J. 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=5999](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999).
142. Wilson J., Tyedmers P., & Pelot R., 2007. Contrasting and Comparing sustainable development indicators metrics. *Ecological Indicators*. 7, 299-314 pp.
143. Yang, Z., Jiang, M., Chen, B., Zhou, J., Chen, G., Li, S. 2010. Solar energy evaluation for Chinese economy. *Energy Policy* 38, 875-886 pp.
144. Young, J.T., 1991. Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? *Journal of Environmental Economics and Management* 21, 169–179 pp.
145. York, R., Rosa, E., Dietz 2005. The Ecological Footprint Intensity of National Economies. *Journal of Industrial Ecology* 8, 139-154 pp.
146. Zhang, J., Yu, T. 2010. Allometric scaling of countries. *Physica A* 389, 4887-4896 pp.
147. Zhou, P, Ang, B., Poh, K. 2006. Comparing aggregating methods for constructing the composite environmental index: an objective measure. *Ecological Economics* 59, 305–11 pp.

## **8. ANEXOS**

## 8.1 INDICES DE SUSTENTABILIDAD DÉBIL

### 8.1.1 Comparación estadística en Índice de Sociedad Sustentable 2008

**Tabla 37.** Prueba de normalidad Sudamérica en índice de Sociedad Sustentable

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	5,7389
Desviación Típica	0,3036	Mediana	5,83
Sesgamiento	-0,2804	Kurtosis	1,6165
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,3398	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-1,4924

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,1278	0,9414	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9208	0,3993	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,4862	0,6268	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-1,2524	0,2104	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	1,8048	0,4056	Aceptar la Normalidad

**Tabla 38.** Prueba de normalidad OCDE en índice de Sociedad Sustentable

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	6,4022
Desviación Típica	0,4609	Mediana	6,29
Sesgamiento	0,258	Kurtosis	1,6148
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,3128	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-1,4957

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,1945	0,42	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8958	0,2286	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,4476	0,6545	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-1,2565	0,2089	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	1,779	0,4109	Aceptar la Normalidad

**Tabla 39.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	1,9894	0,9947	6,5317	<b>0,0084</b>	3,6337	0,368
Dentro de Grupos	16	2,4366	0,1523				
Total	18	4,4261					

**Tabla 40.** Comparación entre grupo prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-0,2322	0,7984	0,8406	rechazado
Chile vs Sud	0,4311	1,4821	0,5586	rechazado
OCDE vs Sud	0,6633	5,0994	0,0064	aceptado

## 8.1.2 Comparación estadística en Índice de Desarrollo Humano ajustado por Desigualdad 2010.

**Tabla 41.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	5,21
Desviación Típica	0,673	Mediana	5,09
Sesgamiento	-0,0243	Kurtosis	3,0928
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,0295	Kurtosis Alternata (de Fisher)	1,3196

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,1601	0,7271	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9593	0,791	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,0423	0,9663	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,0321	0,302	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	1,0669	0,5866	Aceptar la Normalidad

**Tabla 42.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	8,0622
Desviación Típica	0,1675	Mediana	8,1
Sesgamiento	-1,6172	Kurtosis	4,8997
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,9603	Kurtosis Alternata (de Fisher)	4,7613

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,1443	0,8506	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8065	0,0242	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,6386	0,0083	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	2,409	0,016	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	12,7654	0,0017	Rechazar la Normalidad

**Tabla 43.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	36,6913	18,3457	76,2902	<b>0,</b>	3,6337	0,888
Dentro de Grupos	16	3,8476	0,2405				
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>40,5389</b>					

**Tabla 44.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-1,7222	4,7119	0,0112	aceptado
Chile vs Sud	1,13	3,0916	0,1043	rechazado
OCDE vs Sud	2,8522	17,4491	0,0001	aceptado



### 8.1.3. Comparación estadística en PIB PPA per cápita 2008

**Tabla 45.** Pruebas de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	1,8944
Desviación Típica	0,7038	Mediana	1,786
Sesgamiento	-0,1535	Kurtosis	1,887
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,1861	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-0,9771

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1326	0,9194	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,939	0,5716	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,2666	0,7898	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,6695	0,5032	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0,5193	0,7713	Aceptar la Normalidad

**Tabla 46.** Pruebas de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	8,0126
Desviación Típica	0,8831	Mediana	7,881
Sesgamiento	0,4251	Kurtosis	2,0414
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,5153	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-0,683

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,2138	0,2765	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9363	0,5432	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,7352	0,4622	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,3826	0,702	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0,6868	0,7093	Aceptar la Normalidad

**Tabla 47.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	172,4008	86,2004	135,1913	0,	3,6337	0,9339
Dentro de Grupos	16	10,2019	0,6376				
Total	18	182,6026					

**Tabla 48.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-5,1036	8,5749	0,0001	aceptado
Chile vs Sud	1,0146	1,7046	0,4671	rechazado
OCDE vs Sud	6,1181	22,9857	0,0001	aceptado

## 8.1.4. Comparación estadística en Índice de Desempeño Ambiental 2008

**Tabla 49.** Prueba de normalidad

Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	8,
Desviación Típica	0,6587	Mediana	8,18
Sesgamiento	-1,3483	Kurtosis	4,487
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,6344	Kurtosis Alterno (de Fisher)	3,9752

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1412	0,8708	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,852	0,0783	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,2389	0,0252	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	2,1604	0,0307	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	9,6798	0,0079	Rechazar la Normalidad

**Tabla 50.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	8,6756
Desviación Típica	0,5583	Mediana	8,63
Sesgamiento	0,2119	Kurtosis	1,9279
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,2569	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-0,8992

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1412	0,8708	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9572	0,7688	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,3678	0,713	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,5907	0,5548	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0,4842	0,785	Aceptar la Normalidad

**Tabla 51.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	2,0537	1,0268	2,7545	<b>0,0938</b>	3,6337	0,1559
Dentro de Grupos	16	5,9646	0,3728				
Total	18	8,0183					

**Tabla 52.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-0,3356	0,7373	0,8621	rechazado
Chile vs Sud	0,34	0,7471	0,8587	rechazado
OCDE vs Sud	0,6756	3,3193	0,0777	rechazado

### 8.1.5. Comparación Sumatoria Índices de Sustentabilidad Débil

**Tabla 53.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	20,8433
Desviación Típica	1,8046	Mediana	21,356
Sesgamiento	-1,1318	Kurtosis	3,9363
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,372	Kurtosis Alternata (de Fisher)	2,9264

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smimov/Lilliefor	0,1489	0,8181	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8755	0,1408	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,9031	0,057	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,7777	0,0754	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	6,7822	0,0337	Rechazar la Normalidad

**Tabla 54.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	31,1526
Desviación Típica	1,3914	Mediana	30,99
Sesgamiento	0,5792	Kurtosis	2,6026
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,7021	Kurtosis Alternata (de Fisher)	0,386

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smimov/Lilliefor	0,1277	0,9418	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9578	0,7746	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,9975	0,3185	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,4649	0,642	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	1,2111	0,5458	Aceptar la Normalidad

**Tabla 55.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

<b>ANOVA</b>							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	483,0093	241,5047	93,021	0,	3,6337	0,9064
Dentro de Grupos	16	41,5398	2,5962				
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>524,5491</b>					

**Tabla 56.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-7,3936	6,1563	0,0014	aceptado
Chile vs Sudamérica	2,9157	2,4277	0,2295	rechazado
OCDE vs Sudamérica	10,3092	19,1944	0,0001	aceptado

## 8.2. INDICES DE SUSTENTABILIDAD FUERTE

### 8.2.1 Comparación estadística en Índice de Planeta Feliz 2008

**Tabla 57.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	5,3644
Desviación Típica	0,8417	Mediana	5,44
Sesgamiento	-0,498	Kurtosis	2,872
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,6036	Kurtosis Alterna (de Fisher)	0,899

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,0858	1,	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9745	0,9305	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,8596	0,39	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,7921	0,4283	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	1,3663	0,505	Aceptar la Normalidad

**Tabla 58.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	4,3867
Desviación Típica	0,6646	Mediana	4,72
Sesgamiento	-1,0405	Kurtosis	2,7436
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,2613	Kurtosis Alterna (de Fisher)	0,6544

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1364	0,8994	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,837	0,0535	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,758	0,0787	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,6413	0,5213	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	3,5018	0,1736	Aceptar la Normalidad

**Tabla 59.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	4,3107	2,1553	3,7481	<b>0,0462</b>	3,6337	0,2244
Dentro de Grupos	16	9,2008	0,5751				
Total	18	13,5115					

**Tabla 60.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	0,5833	1,032	0,7498	rechazado
Chile vs Sud	-0,3944	0,6979	0,8754	rechazado
OCDE vs Sud	-0,9778	3,8682	0,0369	aceptado

### 8.2.2. Comparación estadística en Independencia de Huella Ecológica 2007

**Tabla 61.** Prueba de normalidad Sudamérica Independencia Huella Ecológica 2007

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	2,8433
Desviación Típica	1,8781	Mediana	2,51
Sesgamiento	1,5753	Kurtosis	4,8098
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	1,9096	Kurtosis Alternas (de Fisher)	4,5901

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,2482	0,1132	Evidencia escasa en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8124	0,0282	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,5777	0,0099	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	2,3572	0,0184	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	12,2011	0,0022	Rechazar la Normalidad

**Tabla 62.** Prueba de normalidad OCDE Independencia Huella Ecológica 2007

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	0,6611
Desviación Típica	0,6896	Mediana	0,38
Sesgamiento	1,2454	Kurtosis	2,8617
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	1,5097	Kurtosis Alternas (de Fisher)	0,8794

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,3246	0,0069	Evidencia fuerte en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,7437	0,0046	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,0808	0,0375	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,7803	0,4352	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	4,9385	0,0846	Aceptar la Normalidad

**Tabla 63** Determinación diferencias significativas mediante Kruskal Wallis.

<b>Prueba de Kruskal-Wallis</b>			
H	10,4351	N	19
Grados de Libertad	2	nivel p	<b>0,0054</b>
H (corregida)	10,4351		

### 8.2.3. Comparación estadística en Huella Ecológica per cápita 2007

**Tabla 64.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	7,2678
Desviación Típica	1,0567	Mediana	7,4
Sesgamiento	-1,2305	Kurtosis	4,0799
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,4916	Kurtosis Alterno (de Fisher)	3,1999

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1296	0,9336	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8613	0,0991	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,0576	0,0396	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,884	0,0596	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	7,7829	0,0204	Rechazar la Normalidad

**Tabla 65.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	3,9767
Desviación Típica	1,3148	Mediana	4,12
Sesgamiento	-0,7844	Kurtosis	2,1901
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,9508	Kurtosis Alterno (de Fisher)	-0,3999

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1626	0,7044	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8462	0,0677	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,341	0,1799	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,1313	0,8955	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	1,8154	0,4034	Aceptar la Normalidad

**Tabla 66.** Determinación de diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	49,9678	24,9839	17,5603	<b>0,0001</b>	3,6337	0,6355
Dentro de Grupos	16	22,764	1,4227				
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>72,7317</b>					

**Tabla 67.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	2,7833	3,1307	0,0992	rechazado
Chile vs Sud	-0,5078	0,5711	0,9145	rechazado
OCDE vs Sud	-3,2911	8,2775	0,0001	aceptado

#### 8.2.4. Comparación estadística en Huella de carbono per cápita 2008

**Tabla 68.** Prueba de normalidad Sudamérica

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	8,8778
Desviación Típica	0,7687	Mediana	9,04
Sesgamiento	-1,0199	Kurtosis	2,6831
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,2363	Kurtosis Alternata (de Fisher)	0,5392
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,1574	0,7499	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,845	0,0656	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,7249	0,0845	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,567	0,5707	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	3,297	0,1923	Aceptar la Normalidad

**Tabla 69.** Prueba de normalidad OCDE Huella Carbono per cápita 2008

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	5,2267
Desviación Típica	1,9696	Mediana	5,49
Sesgamiento	-1,0845	Kurtosis	4,0836
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,3146	Kurtosis Alternata (de Fisher)	3,207
	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,1575	0,7498	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8737	0,1347	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,8282	0,0675	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,8866	0,0592	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	6,9017	0,0317	Rechazar la Normalidad

**Tabla 70.** Determinación diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	60,5609	30,2804	13,5472	<b>0,0004</b>	3,6337	0,5691
Dentro de Grupos	16	35,763	2,2352				
Total	18	96,3238					

**Tabla 71.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	2,6033	2,3362	0,2536	rechazado
Chile vs Sud	-1,0478	0,9403	0,7868	rechazado
OCDE vs Sud	-3,6511	7,3264	0,0003	aceptado

## 8.2.5. Comparación Sumatoria en Índices de Sustentabilidad Fuerte

**Tabla 72.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	24,3533
Desviación Típica	2,8863	Mediana	24,82
Sesgamiento	-0,3205	Kurtosis	2,5925
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,3885	Kurtosis Alterno (de Fisher)	0,3666

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,15	0,8092	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,948	0,6684	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,5555	0,5786	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,4517	0,6515	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0,5126	0,7739	Aceptar la Normalidad

**Tabla 73.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	14,2511
Desviación Típica	3,5426	Mediana	15,22
Sesgamiento	-1,2278	Kurtosis	3,8242
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-1,4884	Kurtosis Alterno (de Fisher)	2,7127

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1236	0,9571	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8613	0,099	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	2,0535	0,04	Rechazar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,6912	0,0908	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	7,0768	0,0291	Rechazar la Normalidad

**Tabla 74.** Determinación diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

<b>ANOVA</b>							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	461,2054	230,6027	22,0875	0,	3,6337	0,6894
Dentro de Grupos	16	167,0469	10,4404				
Total	18	628,2523					

**Tabla 75.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	Grados de Libertad	GL de error	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	6,4889	2,0082	2	16,	0,1749	rechazado
Chile vs Sudamérica	-3,6133	1,1183	3	16,	0,7139	rechazado
OCDE vs Sudamérica	-10,1022	3,1265	2	16,	0,042	aceptado

### 8.3 INDICES COMPLEJIDAD.



### 8.3.1 Comparación Índice Intensidad de Huella Ecológica 2007

**Tabla 76.** Prueba de normalidad Sudamérica

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	3,0578
Desviación Típica	1,4499	Mediana	2,29
Sesgamiento	0,9778	Kurtosis	2,633
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	1,1853	Kurtosis Alternata (de Fisher)	0,4438

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,2372	0,1526	Evidencia escasa en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8393	0,0568	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,6573	0,0975	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,5039	0,6143	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	3,0005	0,2231	Aceptar la Normalidad

**Tabla 77.** Prueba de normalidad OCDE

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	1,43
Desviación Típica	0,3039	Mediana	1,36
Sesgamiento	1,0936	Kurtosis	3,7661
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	1,3256	Kurtosis Alternata (de Fisher)	2,6022

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors	0,2124	0,2854	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8783	0,1508	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	1,8426	0,0654	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	1,6451	0,1	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	6,1014	0,0473	Rechazar la Normalidad

**Tabla 78.** Determinación diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

<b>ANOVA</b>							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	11,924	5,962	5,4331	<b>0,0158</b>	3,6337	0,3182
Dentro de Grupos	16	17,5576	1,0973				
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>29,4816</b>					

**Tabla 79.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	0,79	1,0118	0,7581	rechazado
Chile vs Sudamérica	-0,8378	1,073	0,7329	rechazado
OCDE vs Sudamérica	-1,6278	4,6617	0,012	aceptado

### 8.3.2. Comparación Estadística Índice de Densidad de Huella Ecológica 2007

**Tabla 80.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	61,4017
Desviación Típica	27,159	Mediana	64,97
Sesgamiento	-0,0766	Kurtosis	1,5427
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,0929	Kurtosis Alternata (de Fisher)	-1,633

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smimov/Lilliefors	0,1496	0,8129	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9331	0,5115	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,1332	0,8941	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-1,4332	0,1518	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	2,0717	0,3549	Aceptar la Normalidad

**Tabla 81.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	983,5533
Desviación Típica	762,3647	Mediana	1,044,62
Sesgamiento	0,4675	Kurtosis	2,5108
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,5667	Kurtosis Alternata (de Fisher)	0,2111

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smimov/Lilliefors	0,1649	0,6839	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9236	0,4225	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,8077	0,4193	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,3433	0,7314	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0,7702	0,6804	Aceptar la Normalidad

**Tabla 82.** Determinación diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

<b>ANOVA</b>							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	4.019.484,026	2.009.742,013	6,9071	<b>0,0069</b>	3,6337	0,3834
Dentro de Grupos	16	4.655.500,8916	290.968,8057				
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>8.674.984,9176</b>					

**Tabla 83.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-912,2533	2,269	0,2724	rechazado
Chile vs Sudamérica	9,8983	0,0246	0,9999	rechazado
OCDE vs Sudamérica	922,1517	5,1286	0,0061	aceptado

### 8.3.3. Comparación Estadística en Índice Complejidad Exportaciones 2008

**Tabla 84.** Prueba de normalidad Sudamérica.

<b>Sudamérica</b>			
Tamaño muestral	9	Media	1,6669
Desviación Típica	0,5082	Mediana	1,526
Sesgamiento	-0,157	Kurtosis	1,5366
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,1903	Kurtosis Alternata (de Fisher)	-1,6445

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1648	0,6855	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,8893	0,1962	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,2727	0,7851	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-1,4484	0,1475	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	2,1722	0,3375	Aceptar la Normalidad

**Tabla 85.** Prueba de normalidad OCDE.

<b>OCDE</b>			
Tamaño muestral	9	Media	3,6807
Desviación Típica	0,3937	Mediana	3,715
Sesgamiento	-0,0796	Kurtosis	2,186
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	-0,0965	Kurtosis Alternata (de Fisher)	-0,4075

	<b>Estadísticas de la Prueba</b>	<b>nivel p</b>	<b>Conclusión: (5%)</b>
Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor	0,1087	0,9912	Evidencia nula en contra de la normalidad
W de Shapiro-Wilk	0,9881	0,993	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Sesgamiento	0,1384	0,8899	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	-0,1378	0,8904	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	0,0381	0,9811	Aceptar la Normalidad

**Tabla 86.** Determinación diferencias significativas mediante Análisis Varianza.

<b>ANOVA</b>							
Origen de la Variación	d.f.	SS	MS	F	nivel p	F crit	Omega Cuadrado
Entre Grupos	2	19,1695	9,5847	46,3848	0,	3,6337	0,8269
Dentro de Grupos	16	3,3062	0,2066				
Total	18	22,4756					

**Tabla 87.** Comparación entre grupo mediante prueba Tukey-Kramer para diferencias entre medias.

Grupos	Diferencia	Estadísticas de la Prueba	nivel p	¿Aceptado?
Chile vs OCDE	-1,9927	5,8812	0,002	aceptado
Chile vs Sudamérica	0,0211	0,0623	0,999	rechazado
OCDE vs Sudamérica	2,0138	13,2902	0,0001	aceptado

**Tabla N° 88.** Tabla similitud Bray Curtis en índices de sustentabilidad débil.

Tabla de Similitud Bray Curtis Índices de Sustentabilidad Débil																				
	Paraguay	Bolivia	Ecuador	Venezuela	Perú	Argentina	Uruguay	Brasil	Colombia	Holanda	Reino Unido	Japón	Finlandia	Alemania	Suecia	Dinamarca	Suiza	EEUU	Chile	Sust. Óptm
Paraguay	1																			
Bolivia	92,278	1																		
Ecuador	93,715	88,376	1																	
Venezuela	91,886	87,001	95,926	1																
Perú	96,811	90,502	96,577	95,084	1															
Argentina	90,603	85,709	95,691	98,458	93,772	1														
Uruguay	91,326	83,988	94,585	95,682	93,385	95,814	1													
Brasil	95,064	87,967	96,681	95,703	97,436	95,242	95,764	1												
Colombia	94,577	88,015	96,729	93,547	97,054	93,119	93,207	97,337	1											
Holanda	77,604	70,394	79,196	81,099	79,311	81,92	84,403	80,253	78,067	1										
Reino Unido	79,068	72,506	83,607	83,826	81,522	85,332	87,536	83,776	83,179	95,192	1									
Japón	80,12	72,815	83,932	84,152	81,845	85,659	88,319	84,336	82,793	95,446	97,666	1								
Finlandia	76,548	69,38	80,304	80,52	78,246	82,008	84,639	80,702	80,655	95,276	96,586	96,253	1							
Alemania	78,508	71,263	82,296	82,515	80,221	84,014	86,662	82,698	81,879	96,575	98,65	98,316	97,678	1						
Suecia	75,389	68,27	79,125	79,34	77,077	80,821	83,441	79,521	79,475	95,569	95,359	95,026	98,77	96,707	1					
Dinamarca	78,096	70,867	81,724	82,096	79,806	83,593	86,237	82,279	80,581	97,764	97,445	97,718	97,207	98,684	97,139	1				
Suiza	73,498	66,463	77,198	77,412	75,17	78,88	81,48	77,592	77,545	95,481	93,342	93,01	96,748	94,656	97,464	95,119	1			
EEUU	75,843	69,909	79,571	81,081	78,646	82,273	83,779	79,861	78,107	96,996	94,969	94,364	93,441	94,954	93,379	96,014	95,359	1		
Chile	90,532	82,935	94,005	94,674	92,308	96,213	98,577	94,862	92,644	85,076	88,159	89,2	85,698	87,727	84,496	87,301	82,528	84,018	1	
Sust. Optim	65,882	59,234	69,409	69,613	67,473	71,02	73,518	69,785	69,741	87,308	85,053	84,726	88,407	86,375	89,662	86,799	91,627	87,833	74,528	1

**Tabla N° 89.** Tabla similitud Bray Curtis en índices de sustentabilidad fuerte.

Tabla de Similitud Bray Curtis Índices de Sustentabilidad Fuerte																				
	Paraguay	Bolivia	Ecuador	Venezuela	Perú	Argentina	Uruguay	Brasil	Colombia	Holanda	Reino Unido	Japón	Finlandia	Alemania	Suecia	Dinamarca	Suiza	EEUU	Chile	Sust. Óptm
Paraguay	1																			
Bolivia	90,808	1																		
Ecuador	89,682	85,461	1																	
Venezuela	87,64	82,034	92,835	1																
Perú	92,83	88,293	95,778	89,085	1															
Argentina	91,315	86,586	91,801	92,689	93,034	1														
Uruguay	87,692	80,066	86,262	84,567	85,771	84,555	1													
Brasil	94,531	88,787	92,949	90,024	94,108	96,144	86,789	1												
Colombia	90,357	86,257	95,472	88,344	96,251	92,629	85,037	94,483	1											
Holanda	69,441	63,291	72,577	79,336	69,118	72,442	74,462	79,059	68,441	1										
Reino Unido	77,077	69,733	78,743	85,691	75,163	78,604	84,135	76,139	74,461	88,447	1									
Japón	76,024	68,791	77,752	84,673	74,19	77,613	82,139	75,16	73,491	89,151	97,919	1								
Finlandia	76,148	68,909	73,845	78,966	74,312	77,738	81,813	75,284	73,613	92,004	85,195	92,564	1							
Alemania	75,874	68,791	77,752	84,673	74,19	77,613	81,387	75,16	73,491	92,756	95,124	95,204	89,37	1						
Suecia	84,92	77,459	84,768	88,485	83,107	86,659	91,545	84,116	82,379	83,615	85,866	83,825	88,664	85,85	1					
Dinamarca	63,175	56,607	64,764	71,202	61,497	64,636	74,319	62,384	60,86	80,112	82,593	81,784	78,967	80,81	76,887	1				
Suiza	81,751	74,438	83,666	90,722	80,009	83,523	87,51	81,007	79,29	86,77	93,985	92,075	83,092	93,062	91,901	77,642	1			
EEUU	40,846	35,989	42,046	47,011	39,59	41,949	49,476	40,253	39,116	60,5	56,139	55,674	58,9	57,99	51,537	68,536	51,993	1		
Chile	90,211	83,183	92,859	96,938	89,108	92,669	87,737	90,135	88,368	78,79	85,667	84,65	80,111	84,65	91,43	71,18	90,698	46,994	1	
Sust. Optim	76,581	84,108	74,863	68,269	78,438	75	65,275	77,451	79,154	50,83	55,96	55,125	55,23	55,125	62,826	44,539	60,164	27,475	68,291	1

**Tabla N° 90.** Tabla similitud Bray Curtis en índices de sustentabilidad ideal.

Tabla de Similitud Bray Curtis General																				
	Paraguay	Bolivia	Ecuador	Venezuela	Perú	Argentina	Uruguay	Brasil	Colombia	Holanda	Reino Unido	Japón	Finlandia	Alemania	Suecia	Dinamarca	Suiza	EEUU	Chile	Sust. Óptm
Paraguay	1																			
Bolivia	91,402	1																		
Ecuador	91,522	86,68	1																	
Venezuela	89,652	84,191	94,344	1																
Perú	94,588	89,186	96,142	91,921	1															
Argentina	90,987	86,371	93,647	95,53	93,373	1														
Uruguay	89,482	81,482	90,481	90,42	89,511	90,305	1													
Brasil	94,771	88,448	94,683	92,76	95,606	95,721	91,278	1												
Colombia	92,239	86,997	96,05	90,825	96,608	92,857	89,081	95,78	1											
Holanda	74,081	67,045	76,428	80,4	74,883	77,986	80,642	75,91	73,91	1										
Reino Unido	78,14	71,148	81,482	84,602	78,642	82,414	86,183	80,382	79,256	93	1									
Japón	78,279	70,847	81,238	84,368	78,385	82,178	85,868	80,268	78,616	93,411	97,573	1								
Finlandia	76,372	69,156	77,557	79,892	76,511	80,205	83,546	78,357	77,568	94,244	92,776	92,564	1							
Alemania	77,338	70,067	80,337	83,399	77,526	81,275	84,594	79,392	78,153	95,354	97,455	97,266	94,943	1						
Suecia	79,707	72,773	81,61	83,187	79,822	83,374	86,713	81,577	80,789	91,564	92,006	91,086	95,296	92,928	1					
Dinamarca	71,845	64,305	74,85	77,932	72,079	75,968	81,901	74,052	72,305	92,658	92,856	92,817	91,736	93,25	90,644	1				
Suiza	77,13	70,269	79,963	82,835	77,312	80,852	83,836	79,076	78,313	92,672	93,561	92,693	92,223	94,121	95,522	89,74	1			
EEUU	62,558	55,538	65,853	69,508	63,66	67,645	72,782	65,01	63,22	88,128	84,697	84,216	84,614	85,375	81,695	89,876	83,834	1		
Chile	90,367	83,071	93,434	95,758	90,665	94,461	93,585	92,477	90,465	82,651	87,15	87,364	83,499	86,499	87,339	81,309	85,774	71,806	1	
Sust. Optim	69,345	70,656	68,825	65,728	70,127	69,166	69,093	69,599	69,729	69,028	70,884	70,302	72,218	70,601	76,188	68,814	76,377	64,298	69,613	1

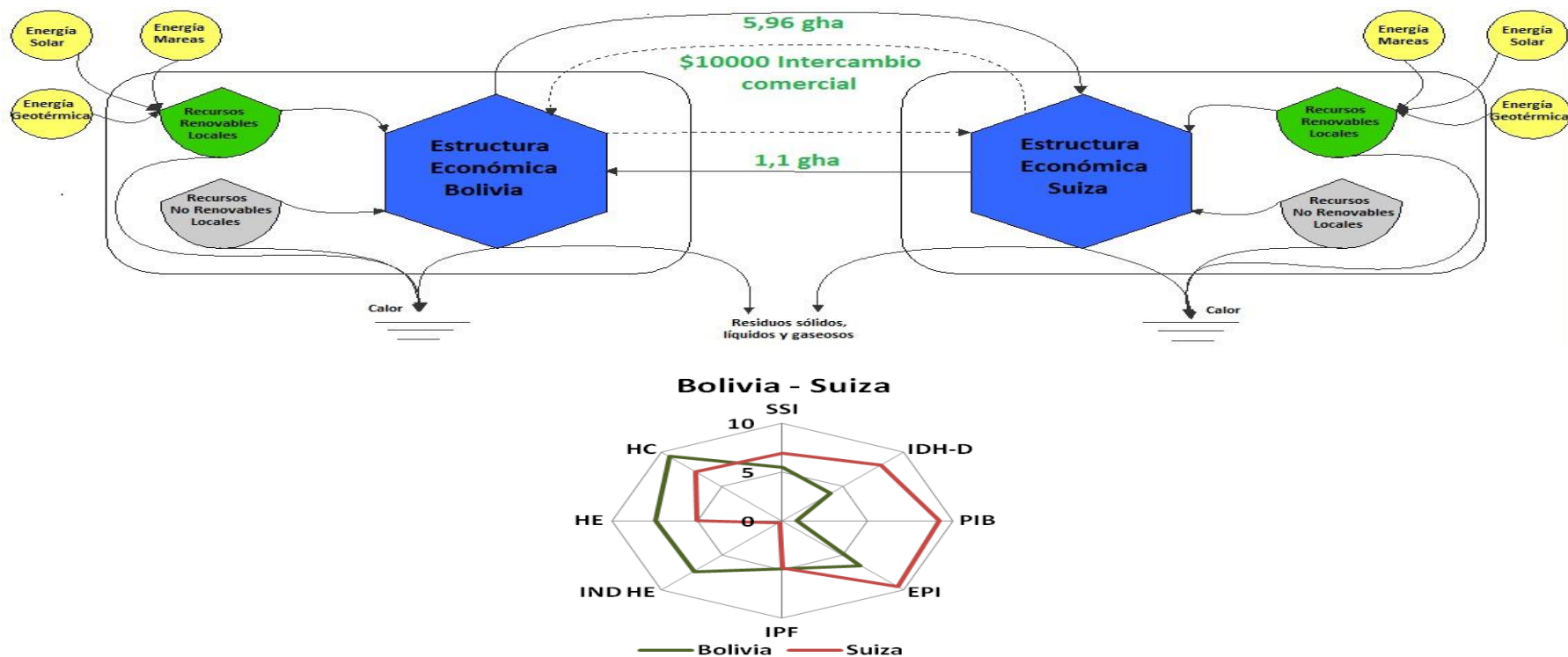
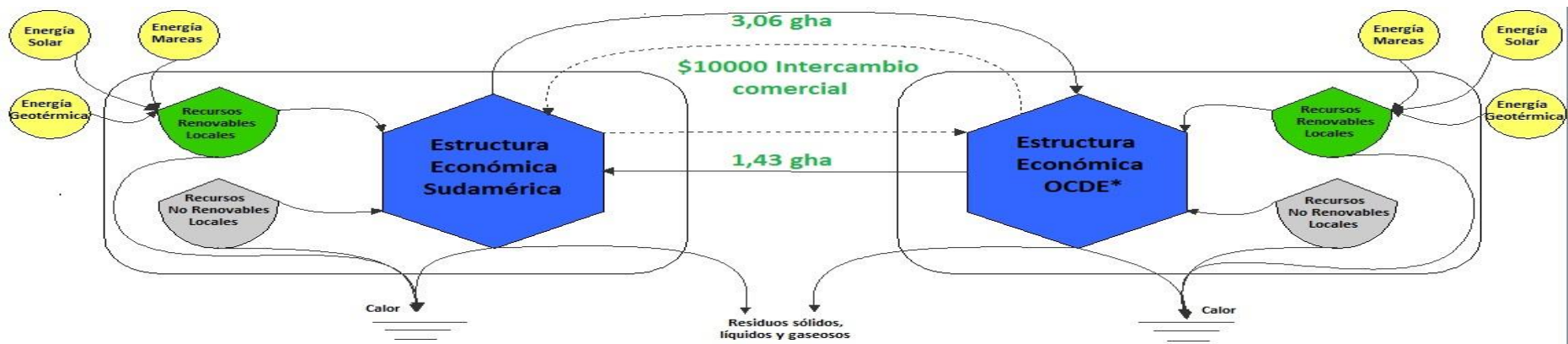


Figura 69. Intercambio comercial entre Bolivia y Suiza por un valor de US\$10'000. Bolivia al comprar bienes a Suiz por un valor de US\$10'000, recibe de Suiza bienes cuya producción requirió transformar 1,1gha de riqueza natural. En cambio Bolivia para producir los US\$10'000 requirió transformar 5,96gha riqueza natural. Por otra parte, Suiza al comprar bienes a Bolivia por un valor US\$10'000, recibe bienes cuya producción requirio 5,96 gha de riqueza natural, en cambio Suiza para producir los US\$10'000 requirió transformar solo 1,1gha de riqueza natural.



**Sudamérica - OCDE\***

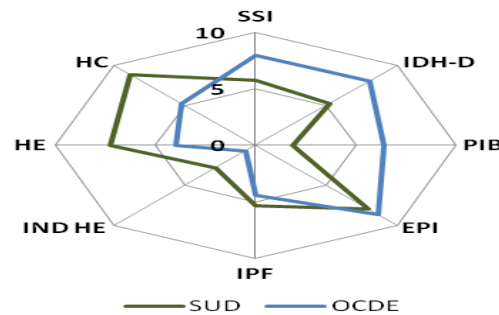


Figura 70. Intercambio comercial promedio entre Sudamérica y la OCDE por un valor de US\$10'000. Sudamérica al comprar bienes a la OCDE por un valor de US\$10'000, recibe de la OCDE bienes cuya producción requirió transformar 1,43gha de riqueza natural. En cambio Sudamérica para producir los US\$10'000 requirió transformar 3,06gha riqueza natural. Por otra parte, la OCDE al comprar bienes a Sudamérica por un valor US\$10'000, recibe bienes cuya producción requirió 3,06 gha de riqueza natural, en cambio la OCDE para producir los US\$10'000 requirió transformar solo 1,43gha de riqueza natural.



..

