

APROXIMACIÓN A LA RELACIÓN ENTRE LAS MAGNITUDES ECONÓMICAS Y LOS INDICADORES DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Fernando González Laxe

Universidad de A Coruña

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Federico Martín Palmero

Universidad de A Coruña

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Resumen

La huella ecológica, como indicador sintético de desarrollo sostenible, se está utilizando cada vez más en los ámbitos global, nacional y local. De la misma forma, su metodología de cálculo se va perfeccionando a medida que avanzan las investigaciones y las fuentes estadísticas resultan más fiables. Por otra parte, también se comienzan a desarrollar indicadores sintéticos de sostenibilidad de carácter multidimensional. No obstante, por tratarse de realidades distintas, se observan, en principio, discrepancias muy significativas entre dichos sistemas de medición del desarrollo sostenible y la contabilidad nacional expresada en términos tradicionales. La presente investigación aborda, a través de métodos estadísticos y econométricos, una aproximación a la comparación de ambos caminos y, en consecuencia, a la verificación de si existe una relación cuantificable, a nivel global, entre las macromagnitudes básicas, los países y los indicadores sintéticos de sostenibilidad desarrollados para los mismos.

Palabras clave

Análisis macroeconómico, desarrollo económico, economía medioambiental, desarrollo sostenible

Resumo

O registo ecológico, como indicador sintético de desenvolvemento sustentábel, está sendo utilizado cada vez mais no âmbito global, nacional e local. Da mesma forma, sua metodologia de cálculo se vai aperfeiçoando à medida que as pesquisas avançam e as fontes estatísticas se tornam mais confiáveis. Por outro lado, também se começam a desenvolver indicadores sintéticos de sustentabilidade de carácter multidimensional. Não obstante, por tratarem-se de realidades distintas, observa-se, a princípio, discrepâncias significativas entre tais sistemas de medição do desenvolvemento sustentábel e a contabilidade

nacional, expressa em termos tradicionais. A presente pesquisa aborda, através de métodos estatísticos e econométricos, uma aproximação à comparação de ambos caminhos e, em consequência, à verificação de se existe uma relação quantificável, a nível global, entre as macro-magnitudes básicas, os países e os indicadores sintéticos de sustentabilidade desenvolvidas para os mesmos.

Palavras-chave

Análise macro-econômica, desenvolvimento econômico, economia meio-ambiental, desenvolvimento sustentável

APROXIMACIÓN A LA RELACIÓN ENTRE LAS MAGNITUDES ECONÓMICAS Y LOS INDICADORES DE DESARROLLO SOSTENIBLE

**Fernando González Laxe
Federico Martín Palmero**

1 Introducción y objetivos

Históricamente, el crecimiento de una economía se viene calculando a través de las macromagnitudes habituales, instrumentos de uso común y generalizado. Estas medidas, de carácter cuantitativo parecen presentar, en principio, poca o muy escasa compatibilidad con los más modernos indicadores que se utilizan para medir la sostenibilidad¹. No obstante, existen fundamentos teóricos que parecen determinar la existencia de alguna relación causa-efecto entre las medidas cuantitativas y cualitativas del desarrollo.

En particular, el indicador sintético simple de desarrollo sostenible conocido como Huella Ecológica (EF), enunciado inicialmente por Wackernagel y Rees (1996) se ha venido aplicando en estudios de detalle, y son ya frecuentes la elaboración de indicadores sintético – globales de sostenibilidad, a partir de metodologías que se han ido perfeccionando en los últimos años (Moldan et al., 1997; Eurostat, 2001; OECD, 2001; ONU, 1999; WEF, 2002; González-Laxe & Martín-Palmero, 2004). La EF se trata de un indicador de desarrollo sostenible basado en el cálculo del grado de apropiación de la tierra (medido en hectáreas per cápita) según las diversas categorías de consumo llevadas a cabo por la población de una

región dada. Dichas categorías se asocian a las diversas clases de territorio que proporcionan los bienes consumidos (cultivos, pastos, bosques y mar), ocupados por las infraestructuras de uso humano (áreas edificadas y construidas) o necesarios para absorber las emisiones de CO₂ producto del consumo energético (CO₂ derivado de la combustión de combustibles fósiles).

Por otro lado, resulta evidente que las medidas de características cuantitativas más comúnmente utilizadas contabilizan cuando menos (aunque en términos monetarios) determinados componentes íntimamente relacionados con la apropiación del territorio; parece pues razonable pensar, en principio, que mayores tasas de Producto Nacional Bruto (GDP) son determinantes de mayor consumo y, consecuentemente de mayor presión y apropiación del territorio sobre los componentes de la huella ecológica en esta categoría. De igual forma, altas tasas de crecimiento serían consecuencia de la aplicación de mayores consumos energéticos (con el consiguiente aumento de la necesidad del área de absorción de CO₂) y de una mayor apropiación de territorio para uso humano.

La presente investigación tiene como objetivo reflexionar si puede verificarse de forma empírica, la relación existente entre el crecimiento orgánico de las economías (medido en términos de GDP) y la tasa de EF de las mismas.

2 Fuente de los datos y selección de los mismos

Para proceder al análisis objeto de la presente investigación se han seleccionado inicialmente los valores de las variables procedentes de las siguientes fuentes:

¹ La relación entre indicadores de sostenibilidad y sistemas contabilidad nacional, así como una amplia metodología sobre el cálculo y significado de la Huella Ecológica puede verse en Martín Palmero (2004), pág. 53 y ss.

- a) Los correspondientes a la Huella Ecológica de todos y cada uno de los países se han extraído del informe Living Planet Report realizado por WWF International (2006)². Del mismo se han tomado los valores de la Huella Ecológica total (EF), alcanzando la muestra inicialmente a 147 países.
- b) Teniendo en cuenta que la comparación debe hacerse en términos de valores per cápita, se han considerado los valores del Producto Interior Bruto per cápita en términos reales (RGDP), procedentes del Centre for International Comparison of Production, Income and Prices de la Universidad de Pensilvania (2006).
- c) Los valores de ambas variables consideradas, tiene como base de referencia el año 2003. La elección de dichas fuentes se ha escogido con el objeto de poder llevar a cabo comparaciones entre países al poseer ambas el mismo período de referencia.
- d) En la comparación entre ambas fuentes, se han perdido por determinadas circunstancias, los datos relativos al RGDP en el año objeto de estudio para los siguientes países: Angola, Haití, Kyrgyzstan, Libya y Myanmar. Por ello, la base de datos para efectuar los cálculos queda definitivamente compuesta por 142 países.

En base a las consideraciones anteriores, la Tabla 1 contiene la relación de los países citados con los datos relativos al año 2003, en lo que se refiere a los valores totales de la Huella Ecológica. De igual manera, se incluyen en la misma los valores del Producto Interior Bruto per cápita en términos reales para cada país, calculados a precios constantes correspondientes al año 2000.

Tabla 1. Huella Ecológica por persona (EF) y Producto Interior Bruto en términos reales (RGDP) per cápita (2003)

| Country | EF (2003) Has. per cápita | RGDP per cápita (\$ Ctes. 2003) |
|-------------|------------------------------|------------------------------------|
| Afghanistan | 0,125118456 | 588,08 |
| Albania | 1,431152676 | 4.160,33 |
| Algeria | 1,582914713 | 5.993,00 |
| Argentina | 2,260542949 | 10.172,06 |
| Armenia | 1,098383992 | 4.765,20 |

² Resultan interesantes las consideraciones sobre los cálculos, la metodología seguida y algunas limitaciones en los datos y sus estimaciones que figuran en el propio informe.

| | | |
|--------------------------|-------------|-----------|
| Australia | 6,557109215 | 27.871,54 |
| Austria | 4,943452516 | 27.566,95 |
| Azerbaijan | 1,747856078 | 3.670,85 |
| Bangladesh | 0,517226092 | 2.154,60 |
| Belarus | 3,320480183 | 12.564,18 |
| Belgium & Luxembourg | 5,614836172 | 26.266,15 |
| Benin | 0,817241818 | 1.345,42 |
| Bolivia | 1,340770278 | 3.005,92 |
| Bosnia Herzegovina | 2,326777519 | 3.492,42 |
| Botswana | 1,579509747 | 8.053,54 |
| Brazil | 2,145754516 | 7.204,40 |
| Bulgaria | 3,110485309 | 8.207,21 |
| Burkina Faso | 0,987385966 | 1.073,26 |
| Burundi | 0,674206451 | 763,70 |
| Cambodia | 0,714934180 | 580,03 |
| Cameroon | 0,834388602 | 2.712,71 |
| Canada | 7,610481117 | 27.844,62 |
| Central African Republic | 0,873759839 | 887,75 |
| Chad | 1,032080528 | 883,52 |
| Chile | 2,332958587 | 12.141,28 |
| China | 1,640737473 | 4.970,45 |
| Colombia | 1,282395204 | 6.094,80 |
| Congo | 0,620311910 | 1.421,15 |
| Congo Dem Republic | 0,577856737 | 435,51 |
| Costa Rica | 1,984145219 | 8.586,55 |
| Côte d'Ivoire | 0,748006127 | 2.018,91 |
| Croatia | 2,943993274 | 9.778,30 |
| Cuba | 1,541793557 | 6.288,18 |
| Czech Republic | 4,912024753 | 14.642,00 |
| Denmark | 5,752876109 | 27.970,44 |
| Dominican Republic | 1,613686534 | 6.899,20 |
| Ecuador | 1,490342256 | 4.329,71 |
| Egypt | 1,353692650 | 4.759,31 |
| El Salvador | 1,370067784 | 4.751,55 |
| Eritrea | 0,714959632 | 609,53 |
| Estonia | 6,466314232 | 12.790,53 |
| Ethiopia | 0,818425605 | 687,31 |
| Finland | 7,644097697 | 23.785,98 |
| France | 5,630631663 | 25.663,46 |
| Gabon | 1,382703873 | 9.561,59 |
| Gambia | 1,373221535 | 937,36 |

| | | |
|------------------|-------------|-----------|
| Georgia | 0,784091603 | 4.224,30 |
| Germany | 4,548896946 | 25.188,58 |
| Ghana | 0,960300438 | 1.440,34 |
| Greece | 5,003050676 | 15.786,66 |
| Guatemala | 1,286377747 | 3.804,81 |
| Guinea | 0,936749032 | 2.887,81 |
| Guinea-Bissau | 0,663393850 | 582,75 |
| Honduras | 1,271255708 | 2.291,67 |
| Hungary | 3,499667534 | 13.016,21 |
| India | 0,752492762 | 2.989,77 |
| Indonesia | 1,058146473 | 4.121,02 |
| Iran | 2,376296984 | 6.398,13 |
| Iraq | 0,863445595 | 1.229,62 |
| Ireland | 4,954133632 | 28.246,98 |
| Israel | 4,616022328 | 20.715,37 |
| Italy | 4,153850194 | 22.923,66 |
| Jamaica | 1,746186888 | 4.584,39 |
| Japan | 4,352922633 | 24.036,44 |
| Jordan | 1,763292041 | 3.742,02 |
| Kazakhstan | 3,969362755 | 10.169,15 |
| Kenya | 0,811091430 | 1.217,74 |
| Korea DPRP | 1,443607660 | 1.428,69 |
| Korea Republic | 4,052110052 | 17.595,14 |
| Kuwait | 7,345516803 | 26.098,34 |
| Laos | 0,894875271 | 1.412,36 |
| Latvia | 2,588105659 | 10.810,80 |
| Lebanon | 2,908149647 | 6.085,02 |
| Lesotho | 0,792937402 | 2.004,58 |
| Liberia | 0,671754563 | 342,47 |
| Lithuania | 4,442861194 | 11.152,78 |
| Macedonia | 2,321462057 | 5.252,85 |
| Madagascar | 0,714747498 | 758,53 |
| Malawi | 0,556649686 | 770,46 |
| Malaysia | 2,248733210 | 12.130,75 |
| Mali | 0,840541707 | 1.183,74 |
| Mauritania | 1,260902118 | 1.429,23 |
| Mauritius | 1,867778118 | 16.463,80 |
| Mexico | 2,558451961 | 7.938,92 |
| Moldova Republic | 1,272335798 | 2.706,52 |
| Mongolia | 3,087772329 | 1.596,62 |

| | | |
|-----------------------|-------------|-----------|
| Morocco | 0,880948108 | 4.059,86 |
| Mozambique | 0,627377125 | 1.450,98 |
| Namibia | 1,139746758 | 5.557,19 |
| Nepal | 0,692537271 | 1.440,94 |
| Netherlands | 4,391281947 | 26.153,73 |
| New Zealand | 5,940238138 | 22.197,41 |
| Nicaragua | 1,177640408 | 3.410,43 |
| Niger | 1,111931246 | 834,82 |
| Nigeria | 1,166307103 | 1.223,36 |
| Norway | 5,848841927 | 34.012,85 |
| Pakistan | 0,601645288 | 2.591,96 |
| Panama | 1,893060413 | 8.243,00 |
| Papua New Guinea | 2,375496777 | 4.492,22 |
| Paraguay | 1,628680980 | 4.718,46 |
| Peru | 0,867039105 | 4.351,06 |
| Philippines | 1,051573433 | 3.576,11 |
| Poland | 3,285184188 | 9.217,11 |
| Portugal | 4,194091389 | 17.333,17 |
| Romania | 2,353265011 | 6.057,57 |
| Russia | 4,406694091 | 11.794,73 |
| Rwanda | 0,660380583 | 1.297,23 |
| Saudi Arabia | 4,640282427 | 16.010,15 |
| Senegal | 1,158502919 | 1.406,60 |
| Serbia and Montenegro | 2,281221482 | 2.987,08 |
| Sierra Leone | 0,717388167 | 712,77 |
| Slovakia | 3,226974576 | 10.943,36 |
| Slovenia | 3,416935823 | 19.757,38 |
| Somalia | 0,402463138 | 682,45 |
| South Africa | 2,291051252 | 8.835,02 |
| Spain | 5,357580491 | 20.642,29 |
| Sri Lanka | 0,996413946 | 4.274,17 |
| Sudan | 1,001638997 | 1.176,32 |
| Swaziland | 1,145951428 | 8.932,57 |
| Sweden | 6,070059361 | 26.137,79 |
| Switzerland | 5,145346109 | 28.791,63 |
| Syria | 1,729248144 | 2.015,91 |
| Tajikistan | 0,637208288 | 1.942,22 |
| Tanzania | 0,703803896 | 911,94 |
| Thailand | 1,376717259 | 7.275,02 |
| Togo | 0,866020941 | 788,52 |
| Trinidad and Tobago | 3,126303085 | 18.390,25 |
| Tunisia | 1,536116845 | 7.601,58 |
| Turkey | 2,064629207 | 5.634,01 |

| | | |
|--------------------------|-------------|-----------|
| Turkmenistan | 3,466589094 | 7.342,21 |
| Uganda | 1,080752348 | 1.113,74 |
| Ukraine | 3,191541526 | 6.426,89 |
| United Arab Emirates | 11,86803211 | 36.675,62 |
| United Kingdom | 5,594214307 | 26.044,01 |
| United States of America | 9,587925661 | 34.875,41 |
| Uruguay | 1,923936633 | 8.856,20 |
| Uzbekistan | 1,826334608 | 3.915,42 |
| Venezuela | 2,180365709 | 6.251,37 |
| Vietnam | 0,875685043 | 2.560,63 |
| Yemen | 0,847105901 | 1.075,69 |
| Zambia | 0,626345791 | 945,89 |
| Zimbabwe | 0,850221008 | 2.437,86 |

3 Metodología de cálculo

La comparación se realiza con la ayuda del programa informático SPSS. De acuerdo con la sistemática citada, el RGDP se tratará siempre como variable independiente, es decir, como variable explicativa del comportamiento de la otra, o variable dependiente (EF). En consecuencia, el proceso seguirá dos fases: en la primera de ellas se analiza la correspondencia entre el RGDP y la EF. En la segunda, se tratará de averiguar si existe y resulta adecuada y significativa una relación lineal entre ambas variables, efectuando una serie de ajustes a través de la eliminación de casos extremos. Se aplicarán igualmente las pruebas pertinentes para determinar la bondad del ajuste lineal realizado.

3.1 Grado de correspondencia entre RGDP y EF

En primer lugar se analiza la correspondencia entre ambas variables a través de los estadísticos tau de Kendall y rho de Spearman, partiendo del supuesto inicial de que la distribución de ambas variables no siguiese una distribución normal. En este caso, el primero de dichos coeficientes alcanza un valor de 0,717 y el relativo a la comparación por rangos de Spearman, 0,896. Los resultados obtenidos, cercanos a la unidad (sobre todo el segundo de ellos), determinan en principio un alto nivel de correlación directa entre ambas variables, lo que supone que aquellos países con mayor RGDP son, a su vez, los que presentan una mayor EF y viceversa (Tabla 2).

Tabla 2. Correlaciones (EF – RGDP)

| | | | EF | RGDP |
|--------------------|----------|-----------------|----------|----------|
| Kendall's tau_b | EF | Correlation | 1,000 | ,717(**) |
| | | Coefficient | | |
| | | Sig. (1-tailed) | . | ,000 |
| | | N | 142 | 142 |
| | RGD P | Correlation | ,717(**) | 1,000 |
| | | Coefficient | | |
| Sig. (1-tailed) | | ,000 | . | |
| | N | 142 | 142 | |
| Spearman's rho | EF | Correlation | 1,000 | ,896(**) |
| | | Coefficient | | |
| | | Sig. (1-tailed) | . | ,000 |
| | | N | 142 | 142 |
| | RGD P | Correlation | ,896(**) | 1,000 |
| | | Coefficient | | |
| Sig. (1-tailed) | | ,000 | . | |
| | N | 142 | 142 | |

** Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed)

El siguiente paso para analizar la correspondencia entre ambas variables se realiza a través de la verificación de la existencia de un alto grado de correlación lineal entre ambas variables. En la Tabla 3 se incluyen los resultados del valor alcanzado del coeficiente de correlación lineal de Pearson. Puede observarse que dicho coeficiente alcanza un valor de 0,912, positivo y altamente significativo de la existencia de una relación positiva y lineal entre ambas variables, ya que se encuentra muy cercano a 1, valor del coeficiente que determinaría una relación lineal perfecta.

Tabla 3. Coeficiente de Correlación de Pearson (EF – RGDP)

| | | EF | RGDP |
|------|---------------------|----------|----------|
| EF | Pearson Correlation | 1 | ,912(**) |
| | Sig. (1-tailed) | . | ,000 |
| | N | 142 | 142 |
| RGDP | Pearson Correlation | ,912(**) | 1 |
| | Sig. (1-tailed) | ,000 | . |
| | N | 142 | 142 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (1-tailed)

3.2 Regresión Lineal Simple

El proceso de aproximación inicial al ajuste por el método de mínimos cuadrados de una recta al comportamiento de ambas variables, se realiza mediante el programa informático considerando los valores del RGDP como variable independiente o explicativa y la EF como variable dependiente. Los resultados obtenidos para la comparación de los valores de ambas variables para los 142 países se presentan completos en la Figura 1.

Como puede apreciarse, en esta primera aproximación al ajuste, la ecuación de la recta de regresión sería la siguiente:

$$EF = 0,6352913 + 0,0002052RGDP$$

En principio, el valor del Coeficiente de Determinación (R^2) es igual a 0,831 lo que determina un buen nivel de ajuste (un 83% de la EF está explicado por la RGDP). Al obtenerse un nivel de significación de valor 0 para la F de Fisher-Snedecor, indica que la variable explicativa es estadísticamente significativa.

Figura 1. Regresión lineal simple de la variable EF sobre la variable RGDP (142 países)

Model Summary(b)

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Durbin-Watson |
|-------|---------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | ,912(a) | ,831 | ,830 | ,84154 | 2,063 |

a Predictors: (Constant), RGDP

b Dependent Variable: EF

ANOVA(b)

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| 1 | Regression | 488,311 | 1 | 488,311 | 689,522 | ,000(a) |
| | Residual | 99,146 | 140 | ,708 | | |
| | Total | 587,457 | 141 | | | |

a Predictors: (Constant), RGDP

b Dependent Variable: EF

Coefficients(a)

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | ,6352913 | ,097 | | 6,529 | ,000 |
| | RGDP | ,0002052 | ,000 | ,912 | 26,259 | ,000 |

a Dependent Variable: EF

Casewise Diagnostics(a)

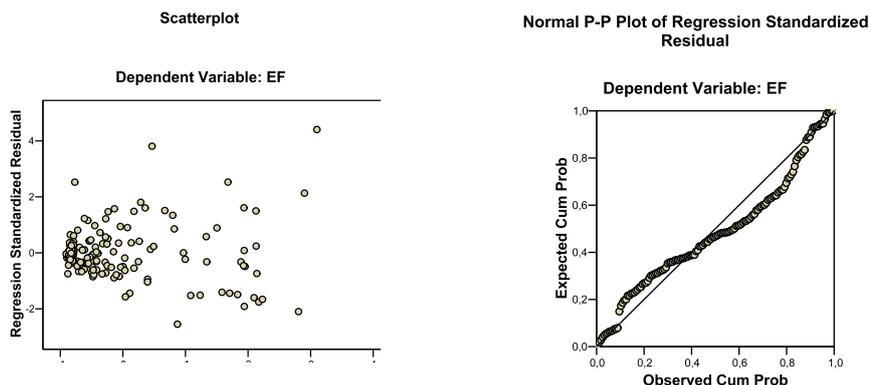
| Case Number | Std. Residual | EF | Predicted Value | Residual |
|-------------|---------------|-------|-----------------|----------|
| 41 | 3,810 | 6,47 | 3,2603 | 3,20605 |
| 133 | 4,404 | 11,87 | 8,1621 | 3,70589 |

a Dependent Variable: EF

Residuals Statistics(a)

| | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation | N |
|----------------------|----------|---------|--------|----------------|-----|
| Predicted Value | ,7056 | 8,1621 | 2,3929 | 1,86097 | 142 |
| Residual | -2,14634 | 3,70589 | ,00000 | ,83855 | 142 |
| Std. Predicted Value | -,907 | 3,100 | ,000 | 1,000 | 142 |
| Std. Residual | -2,550 | 4,404 | ,000 | ,996 | 142 |

a Dependent Variable: EF



A continuación, se pasan a analizar aquellas cuestiones que garantizan la validez del ajuste así como otras características del mismo.

- a) En el gráfico inferior izquierdo de la Figura 1 se recoge el Diagrama de Dispersión que relaciona los residuos y los pronósticos tipificados. Puede apreciarse que ambos no siguen ninguna pauta de asociación clara. Si la varianza de los residuos fuese constante, la nube de puntos estaría concentrada en una banda, centrada en el cero y paralela al eje de abscisas. En el gráfico, al alejarse del origen la dispersión de la nube de puntos aumenta: a mayor valor de estimación de la EF, mayor es la dispersión de los residuos. Tal hecho confirma la independencia de los mismos y que constituyen una variable aleatoria.

- b) No existe autocorrelación entre los residuos. El estadístico Durbin-Watson alcanza un valor 2,063, con lo que pueden considerarse completamente independientes.
- c) En el gráfico de Probabilidad Normal de los residuos (parte inferior derecha de la Figura 1) se puede observar del hecho de que, en principio, existen algunas dudas sobre la normalidad de los residuos ya que la nube de puntos no se encuentra alineada perfectamente sobre la diagonal del gráfico. La posterior corrección de los casos extremos permitirá acercarse a una distribución normal.
- d) En los cálculos efectuados, se recogen igualmente los casos en que los residuos se alejan de su media (0), más de tres desviaciones típicas. Puede apreciarse que en este primer ajuste sucede en los casos números 41 y 133, Estas excepciones y las que se derivan de los ajustes sucesivos para corregir la estimación se analizan a continuación.

3.3 Regresión Lineal Simple ajustada

Los dos primeros países en los que se dan residuos muy altos se corresponden a Estonia y los Emiratos Árabes Unidos. Como puede observarse, los valores estimados de la EF en ambos casos a través del procedimiento de regresión son muy bajos comparados con los valores reales. La causa es sin duda la desviación que provoca el componente energético de la EF que, en el primero de los países representa un 54% de la huella ecológica total y en el segundo un 76%³.

Con el fin de perfeccionar y optimizar el ajuste realizado, se procede mediante la exclusión de estos países a recalcular la regresión lineal simple solicitando en cada paso el diagnóstico de casos extremos, para proceder a su supresión posterior. Los resultados del proceso se incluyen en la Figura 2.

³ La media mundial del componente energético sobre la huella total se sitúa en un 47%

Figura 2. Diagnóstico de los mayores residuos en las distintas etapas

Casewise Diagnostics(a)

| Case Number | Std. Residual | EF | Predicted Value | Residual |
|-------------|---------------|------|-----------------|----------|
| 42 | 3,218 | 7,64 | 5,2964 | 2,34772 |

a Dependent Variable: EF

Casewise Diagnostics(a)

| Case Number | Std. Residual | EF | Predicted Value | Residual |
|-------------|---------------|------|-----------------|----------|
| 132 | 3,195 | 9,59 | 7,3402 | 2,24777 |

a Dependent Variable: EF

Casewise Diagnostics(a)

| Case Number | Std. Residual | EF | Predicted Value | Residual |
|-------------|---------------|------|-----------------|----------|
| 84 | 3,058 | 3,09 | 1,0175 | 2,07029 |

a Dependent Variable: EF

El análisis particularizado del procedimiento se realiza como sigue:

- a) Una vez aislados los casos de Estonia y Emiratos Árabes y efectuar de nuevo la regresión, resulta ser Finlandia (caso 42) el país en el que el residuo de la variable dependiente (EF) se aleja de la media más de 3 desviaciones típicas.
- b) La siguiente fase del proceso (excluido el caso 42) da como excepción a los Estados Unidos de América (caso 132).
- c) Por fin, la última de las regresiones en las que se obtiene una excepción (residuos alejados de la media más de tres desviaciones típicas), resulta ésta el caso de Mongolia (84). Si en los países anteriores era el componente energético de la EF la causa del desajuste, en este caso es el de la apropiación de tierra para pastos, que representa un 78% de la huella ecológica de este país (la media global de esta categoría no alcanza el 7% de la huella ecológica total).

Llevado a cabo el procedimiento de eliminación de los casos excepcionales el proceso de ajuste se vuelve a realizar para los 136 países restantes, de la misma forma que se efectuó para la muestra total. Los resultados obtenidos se recogen en la Figura 3.

En este caso, la ecuación de regresión queda determinada por:

$$EF = 0,6966472 + 0,0001859RGDP$$

Las propiedades del modelo corregido experimentan una notable mejoría con respecto al inicial, con las particularidades siguientes:

- a) El coeficiente R de Pearson aumenta a 0,924, muy próximo ya a la unidad (correlación lineal perfecta).
- b) Consecuentemente el valor del Coeficiente de Determinación (R^2) pasa a 0,854, con lo que mejora el nivel de ajuste (un 85% de la variable dependiente está explicado por la independiente).
- c) Sigue obteniéndose un $F=0$, con lo que la variable explicativa sigue siendo estadísticamente significativa.
- d) En lo que respecta a las garantías sobre el ajuste correcto señalar:
 - El estadístico Durban-Watson, alcanza un valor 2,174, prueba de incorrelación entre los residuos.
 - Como sucedía en el caso más generalizado (142 países), los residuos y los pronósticos no siguen una asociación clara, lo que es prueba de su independencia (véase el Diagrama de Dispersión que relaciona los residuos y los pronósticos tipificados en la parte inferior izquierda de la Figura 3).
 - La observación del Gráfico de Probabilidad Normal de los residuos hace inferir que la distribución de los residuos se acerca muy significativamente a la distribución normal, al encontrarse ya muy cerca de la diagonal, según se desprende de la observación del gráfico situado en el ángulo inferior derecho correspondiente a la Figura 3.

Figura 3. Regressión lineal simple de la variable EF sobre la variable RGDP (136 países)

Model Summary(b)

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Durbin-Watson |
|-------|---------|----------|-------------------|----------------------------|---------------|
| 1 | ,924(a) | ,854 | ,852 | ,65545 | 2,174 |

a Predictors: (Constant), RGDP

b Dependent Variable: EF

ANOVA(b)

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|-----|-------------|---------|---------|
| 1 | Regression | 338,061 | 1 | 338,061 | 786,897 | ,000(a) |
| | Residual | 57,998 | 135 | ,430 | | |
| | Total | 396,058 | 136 | | | |

a Predictors: (Constant), RGDP

b Dependent Variable: EF

Coefficients(a)

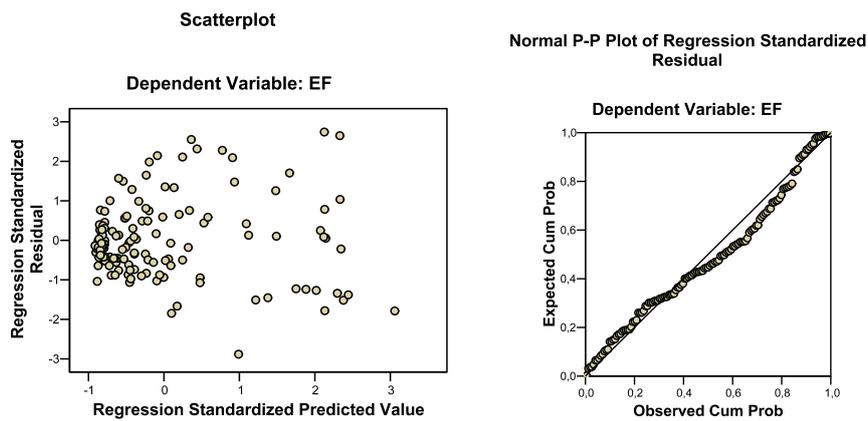
| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | ,6966472 | ,077 | | 8,993 | ,000 |
| | RGDP | ,0001859 | ,000 | ,924 | 28,052 | ,000 |

a Dependent Variable: EF

Residuals Statistics(a)

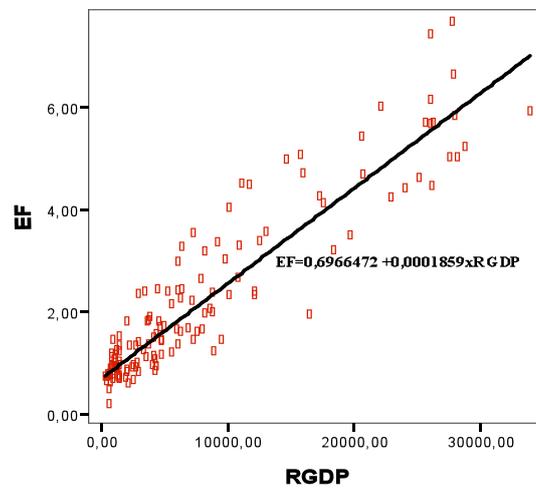
| | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation | N |
|----------------------|----------|---------|--------|----------------|-----|
| Predicted Value | ,7603 | 7,0202 | 2,1981 | 1,57662 | 137 |
| Residual | -1,88976 | 1,79675 | ,00000 | ,65303 | 137 |
| Std. Predicted Value | -,912 | 3,059 | ,000 | 1,000 | 137 |
| Std. Residual | -2,883 | 2,741 | ,000 | ,996 | 137 |

a Dependent Variable: EF



Con el nuevo ajuste realizado para los 136 casos considerados, la recta de regresión obtenida se recoge en la Figura 4.

Figura 4. Regresión Lineal



4 Conclusiones: indicador de sostenibilidad vs macromagnitudes cuantitativas

Del análisis llevado a cabo es posible derivar, en primer lugar, las siguientes conclusiones prácticas:

1. En principio, puede considerarse como existente una relación lineal directa, positiva y muy significativa entre la variable independiente (RGDP) y la dependiente (EF).
2. Tal hecho significa que aquellos países que tienen mayor renta per cápita son a su vez los que presentan mayor huella ecológica por persona. En consecuencia, el grado de apropiación de territorio medido por este indicador de desarrollo sostenible es una función lineal y creciente de la renta personal de los habitantes de cada país.
3. Las excepciones a dicho comportamiento son siempre, a su vez, producto de situaciones anómalas en algunos de los componentes de la huella ecológica; en particular, vienen explicadas por la mayor huella ecológica de la energía en dichos países, que provoca que la huella total sea mucho más alta que la que debería corresponder a los valores respectivos del RGDP.

Por otra parte, el modelo planteado hace posible realizar una serie de breves aportaciones teóricas que pueden explicar de forma muy significativa la relación existente entre ambos sistemas de medición. En este sentido, la huella ecológica – según se desprende de los ajustes realizados – tiene dos componentes que podrían definirse de la siguiente manera:

1. *Huella Ecológica Autónoma*: se plantearía como una consecuencia lógica y equivalente al Consumo Autónomo keynesiano. Se trata de una constante (independiente del nivel de renta) y podría definirse como el grado de apropiación del territorio que haría una persona con $RGDP = 0$.

En el ejemplo de la regresión efectuada, la huella ecológica autónoma a nivel global se situaría en aproximadamente 0,7 hectáreas per cápita viniendo definida por la ordenada en el origen de la recta de regresión.

En este caso, cada individuo (aunque no tuviese renta alguna) necesitaría 0,7 hectáreas de territorio para satisfacer sus consumo autónomo.

2. *Propensión marginal a la apropiación de la tierra*: además de la huella ecológica autónoma, cada habitante de la tierra añadiría a la misma un componente derivado del

nivel de RGDP; dicha propensión marginal viene determinada por la pendiente (o derivada, ya que ambas coinciden en valor absoluto) de la recta de regresión. En los cálculos efectuados, por cada 1.000 \$ adicionales de renta que incremente un individuo, la huella ecológica aumentaría en 0,19 hectáreas per cápita.

3. Por último, la definición de ambos conceptos resulta un instrumento de indudable validez, tanto para la explicación del producto final de una economía, como para el desarrollo de políticas económicas. Significa esto que cada economía y cada individuo consumen una parte relevante de bienes renovables y no renovables, cuestión que subraya la necesidad de poner en marcha instrumentos que puedan tanto reducir la huella ecológica, como adoptar medidas que atenúen la presión humana sobre el medio natural.

5 Referencias

CENTRE FOR INTERNATIONAL COMPARISON OF PRODUCTION, INCOME AND PRICES DE LA UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA. Pen World Tables, http://pwt.econ.upenn.edu/php_site/pwt62_retrieve.php, 2006.

EUROSTAT. Measuring progress a more sustainable Europe. Proposed indicators for sustainable development. Luxembourg, 2001.

GONZÁLEZ-LAXE, F.; MARTÍN PALMERO, F. Diseño de un índice sintético de desarrollo sostenible y aplicación a la Unión Europea. Economía Agraria y Recursos Naturales, Vol. 4, nº 7, 2004, pp. 3-26.

MARTÍN PALMERO, F. Desarrollo sostenible y huella ecológica, Netbiblo, A Coruña, 2004.

MOLDAN, B; BILLHARZ, S.; MATREVERS, R. Sustainability Indicators: report on project on indicators of sustainable development. Chichester. John Wiley, 1997.

OCDE. Key Environmental Indicators. Paris, 2001.

ONU. United Nations Sustainable Development: Indicators of sustainable development, 1999.

WACKERNAGEL, M.; REES, W.E. Our Ecological Footprint: Reducing Impact on the Earth, New Society Publishers, Philadelphia, 1996

WORLD ECONOMIC FORUM. Environmental Sustainable Index, in: <http://www.ciesin.columbia.edu/indicators/ESI>, 2002.

WWF International. Living Planet Report, in: <http://footprintnetwork.org>, 2006

Los autores:

Fernando González Laxe

Instituto Universitario de Estudios Marítimos
Universidad de A Coruña
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Campus de Elviña, s/n. 15071 A CORUÑA
E-mail: laxex@udc.es

Federico Martín Palmero

Universidad de A Coruña
Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Campus de Elviña, s/n. 15071 A CORUÑA
E-mail: fgmartin@udc.es