



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Computadores para Escuelas: Análisis de sostenibilidad de las estrategias de suministro en países en vía de desarrollo

El caso de Computadores para Educar, Colombia

Christian Marthaler

Instituto de Ciencias Ambientales (ENV) de la Universidad Técnica ETH de Zürich, Suiza

RESUMEN

La "brecha digital", comúnmente definida como la brecha entre los que tienen y los que no tienen acceso a computadores y a la Internet, ha sido un tema central en las agendas de programas políticos y educativos. Varias iniciativas privadas y públicas se han puesto en marcha desde finales de los años '90 con el fin de disminuir esta brecha y proporcionar computadores a escuelas en países en vía de desarrollo.

En el año 2000 Colombia inició un programa de reacondicionamiento denominado "Computadores para Educar" (CPE), establecido a nivel nacional con el fin de proporcionar computadores a escuelas de poblaciones vulnerables.

Este estudio tiene como objetivo evaluar la sostenibilidad del programa de reacondicionamiento de CPE e incorporar estrategias alternativas de suministro. Los resultados pueden servir para facilitar el proceso de la toma de decisiones en relación con la implementación de la estrategia más adecuada para el suministro de computadores a las escuelas.

Para este fin se realizó un análisis de flujo de materiales (AFM) del programa CPE. Estrategias alternativas fueron identificadas, incorporadas y evaluadas en relación con su desarrollo

económico, ambiental y social utilizando la teoría de la utilidad de atributos múltiples (MAUT).

Los resultados del AFM proporcionaron datos nuevos con respecto a los beneficios de un sistema combinado de reacondicionamiento y reciclaje en comparación con un sistema de reciclaje únicamente. Tomando el Eco-indicator '99 como referencia, este estudio concluye que un computador reacondicionado y después reciclado tiene un mejor rendimiento ambiental (por 16,8%) que un PC directamente reciclado.

La evaluación mediante la MAUT muestra que el programa de CPE impone un estándar alto que pondrá a prueba las soluciones alternativas. Este estudio concluye que el reacondicionamiento de los computadores de origen colombiano es la estrategia más sostenible. Además concluye que el computador portátil "XO" que representa un acontecimiento reciente, es la solución más económica y la segunda en el contexto ambiental. Sin embargo, el hecho de no utilizar los recursos humanos locales conduce a una sostenibilidad global inferior en comparación con otras estrategias.

1 Introducción

Utilizada en muchas formas diferentes, la tecnología es considerada una de las principales fuentes de la prosperidad humana, el progreso y la racionalización. Los beneficios del desarrollo tecnológico y su gama de aplicaciones parecen ilimitados. Sin embargo, debido a la falta de acceso y a la competencia económica no todos se benefician por igual de las nuevas tecnologías. Desde mediados de los años '90 esta brecha entre los que tienen y los que no tienen acceso ha sido definida como la "brecha digital".

Una amplia investigación se ha llevado a cabo para identificar las razones por las que existe (Pinkett 2003; Chinn y Fairlie 2006; van Dijk 2006) y para ofrecer asesoría en cuanto a las mejores políticas por aplicar con el fin de reducir la brecha (Mariscal, 2005). Todos los estudios realizados indican que los costos parecen ser un elemento crucial para cerrar la brecha. Una vez que las razones fueron identificadas, se sugirieron posibles soluciones para el problema. James (2000) declaró que "... los costos de los computadores utilizados en los países en vía de desarrollo pueden ser reducidos por dos formas principales; la primera es extender la vida de los equipos existentes y la segunda es diseñar productos totalmente nuevos". Él anticipó lo que se ha convertido en realidad hoy en día.

"One Laptop per Child" (OLPC) ha diseñado un portátil de bajo costo, el llamado "XO Laptop" con el fin de suministrar grandes cantidades de computadores a escuelas en países en vía de desarrollo. Programas de reacondicionamiento como "ComputerAid", "Close the Gap" o "World Computer Exchange" envían computadores de países industrializados a países en vía de desarrollo para su reuso. Todos con la visión de reducir la brecha digital.

Pero, ¿qué va a suceder después de la implementación de soluciones? O como Smith (2004) dice, "...la cuestión no es si debemos o no debemos usar los computadores con fines educativos, la cuestión más bien es cómo se fabrican, utilizan, y por último disponen los computadores". Él menciona lo que hasta ahora ha sido una cuestión abierta y un ocioso campo de investigación.

Una vez que los computadores entregados lleguen al final de su vida útil se convierten en e-waste. Según Widmer et al. (2005) e-waste contiene componentes peligrosos, tales como plomo, mercurio, arsénico o retardantes de llama, para mencionar sólo unos pocos, que pueden causar daños al medio ambiente y la salud humana al no ser manejados de manera adecuada. Por lo tanto, es de gran importancia investigar la sostenibilidad ambiental de las diferentes estrategias que tienen como meta la reducción de la brecha digital.

En el año 2000, Colombia toma la decisión de reducir la brecha con sus propias estrategias al poner en marcha el programa de reacondicionamiento "Computadores para Educar" (CPE). CPE es un programa de gobierno que reacondiciona computadoras donados por entidades públicas y privadas a nivel nacional y los distribuye a escuelas en todo el país.

2 Objetivo del Estudio

Este estudio tiene como objetivo investigar la viabilidad de diferentes estrategias para suministrar computadores a las escuelas de Colombia. Adicionalmente, nuevos hallazgos sobre los beneficios del reacondicionamiento de un computador personal (PC) deben ser adquiridos. Por eso se creó una cooperación con CPE y se definieron las siguientes preguntas de investigación:

- A. ¿Cuáles son los flujos de materiales del programa CPE?
- B. ¿Cuáles son los posibles escenarios alternativos para proporcionar una oferta suficiente de computadores a las escuelas en Colombia?
- C. ¿Cuáles son los costos involucrados en cada uno de estos escenarios?
- D. ¿Cuáles son las etapas críticas durante el ciclo de vida de un computador reacondicionado y reciclado en relación con el impacto ambiental?
- E. ¿Cuál de los escenarios tiene el mejor rendimiento en relación con sus impactos económicos, ambientales y sociales?

3 Métodos

El Análisis de Flujo de Materiales (AFM) ha sido utilizado como el método para calcular los flujos de materiales de CPE. Se investigaron los flujos de CPU's, monitores TRC, teclados y ratones. Además se cuantificaron las piezas y componentes utilizados durante el reacondicionamiento, así como los materiales obtenidos después del proceso de desmantelamiento.

Con el fin de evaluar la sostenibilidad de los diferentes escenarios, la teoría de la utilidad de atributos múltiples (MAUT) fue elegida como el método predeterminado. La MAUT requiere un conjunto de atributos (ver también la Figura 2) que abarca los aspectos del problema que se está evaluando. Para permitir preferencias subjetivas los atributos se someten a una ponderación por las partes interesadas. Una vez que todos los escenarios han sido evaluados en función de cada

uno de los atributos, la MAUT combina las calificaciones y realiza una síntesis que resulta en una medida unidimensional de utilidad. En la MAUT el desempeño ambiental se evaluó con un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y con el Eco-indicator '99 (Figura 3). Esto permitió la identificación de las etapas críticas del ciclo de vida. Las etapas son: producción, uso, reacondicionamiento, transporte, reciclaje y disposición (Figura 1).

4 Resultados

Como unidad funcional para todos los escenarios se definió el suministro de 46'000 computadores con una vida útil de cinco años en las escuelas. El número se basa en la meta del gobierno colombiano de reducir el índice de alumnos por computador del índice actual de 40:1 a 20:1.

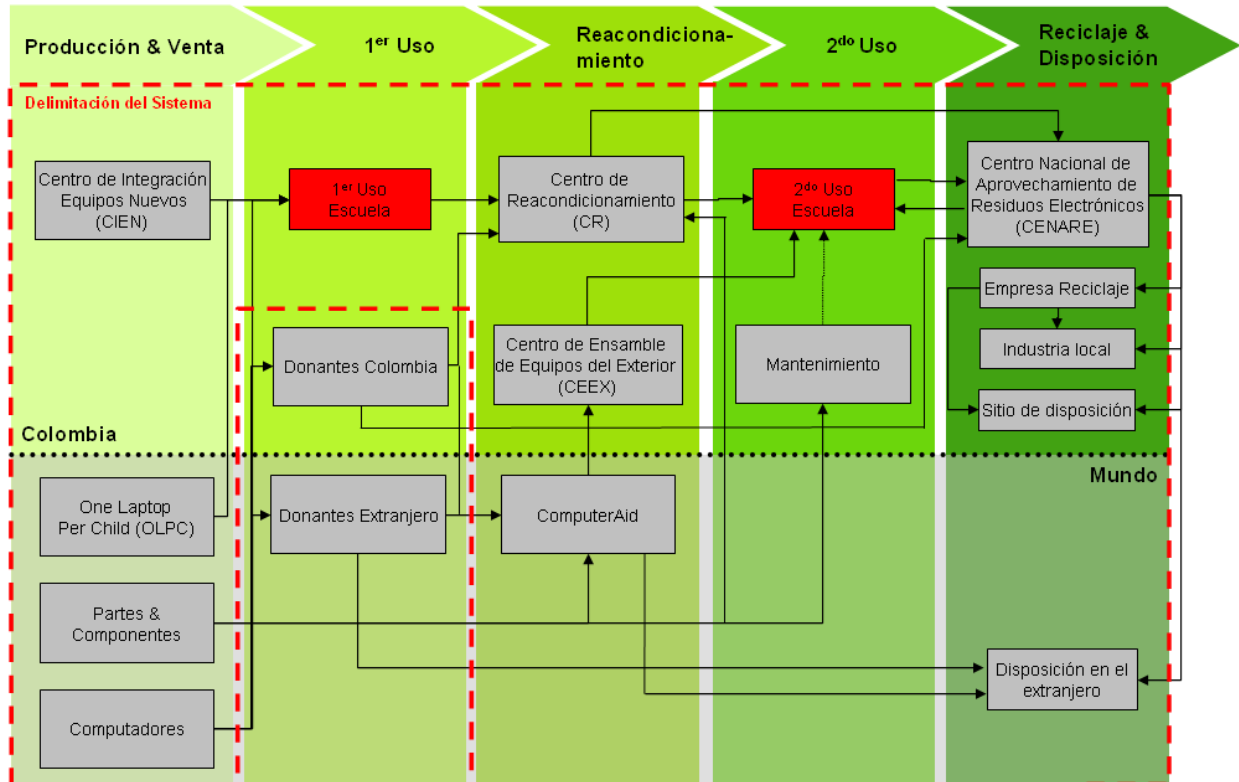


Figura 1: Esquema modelo del Análisis de Flujo de Materiales (AFM) ilustrando posibles escenarios.

Se definieron cinco escenarios con dos sub-escenarios:

Escenario I "100% reacondicionamiento colombiano": Este escenario se basa en la situación de 2006. Los computadores provienen exclusivamente de entidades públicas y privadas colombianas y son reacondicionados en uno de los cinco centros de reacondicionamiento (CRs) de CPE. Adicionalmente se definió un sub-escenario que no incluye el mantenimiento.

Escenario II "Reacondicionamiento en Colombia/en el extranjero y ensamble local": Este escenario refleja la situación en la actualidad (2007). Los computadores o son facilitados por los CRs, ensamblados en el Centro de Integración de Equipos Nuevos (CIEN) o reacondicionados en el extranjero (en este estudio ComputerAid) y enviados al Centro de Ensamble de Equipos del Exterior (CEEX).

Escenario III "reacondicionamiento en el extranjero": Los computadores son facilitadas principalmente por "ComputerAid". Para los computadores reacondicionados en los CRs se definieron especificaciones mínimas ('Pentium III' o superior).

Escenario IV "Donaciones del extranjero para reacondicionamiento en Colombia": Los equipos llegan directamente de los usuarios en el extranjero a los CRs. Para computadores reacondicionados de origen colombiano se definieron especificaciones mínimas ('Pentium III' o superior).

Escenario Va "Portátil XO", Vb "Compra de PCs nuevos": Para los computadores reacondicionados de origen colombiano se definieron especificaciones mínimas ('Pentium III' o superior). El resto de los computadores se sustituye por la compra de portátiles XO (escenario Va) o computadores nuevos (escenario Vb).

5 Aplicación de la MAUT

La evaluación mediante la MAUT muestra que el escenario I es la solución más sostenible para el suministro de computadores a las escuelas de Colombia (Figura 2). La mayor parte del trabajo se realiza dentro de Colombia. Además, este escenario incorpora la mayor cantidad de computadores cuya vida útil fue prolongada. La segunda soluciones más sostenible son los escenarios II, III y IV. Tomando en cuenta solamente el rendimiento económico y ambiental, el escenario Va corresponde a la solución más sostenible. Debido a la producción en el extranjero, la reducción del reacondicionamiento en Colombia y la reducción del esfuerzo para el reciclaje de un portátil XO, el escenario tiene un rendimiento social positivo relativamente bajo. El escenario Vb es la solución menos sostenible.

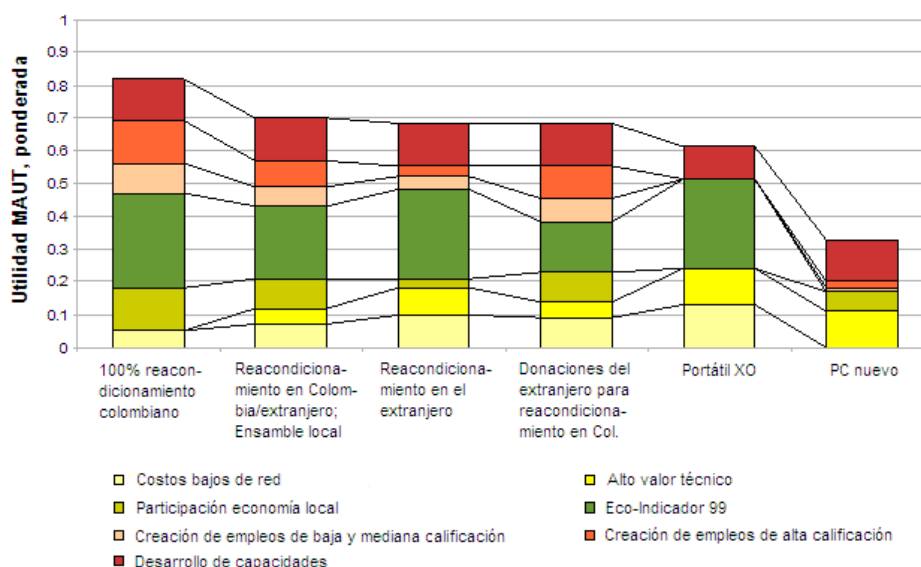


Figura 2: Resultados ponderados de la teoría de la utilidad de atributos múltiples (MAUT) subdivididos en los atributos aplicados (1 es la máxima utilidad, 0 la mínima).

6 Los Beneficios del Reacondicionamiento

Independiente de los escenarios y la MAUT, los datos recogidos por el AFM en los CRs permiten una comparación del rendimiento ambiental del ciclo de vida de los computadores reacondicionados, reacondicionados y mantenidos, directamente reciclados y del portátil XO. La vida útil estimada para un computador reacondicionado es de siete años, con mantenimiento incluso nueve. Para un computador reciclado directamente y el computador portátil XO la vida útil se estima en cinco años.

Todos los cálculos fueron realizados por un tiempo total de uso de diez años. Los datos obtenidos fueron procesados con el software 'SIMAPRO' y evaluados con el Eco-indicador '99. Con un rendimiento ambiental total de 14,3 puntos del Eco-indicador '99, el portátil XO tiene aproximadamente el 90% menos impacto ambiental negativo que un computador normal que en el mejor de los casos llega a 163,6 puntos (Figura 3). Si un computador es primeramente reacondicionado y mantenido, su desempeño ambiental resulta en un 16,8% mejor que el de un PC que se recicla directamente. El mismo equipo sin mantenimiento aún tiene un mejor desempeño ambiental (6,9%) que uno reciclado directamente.

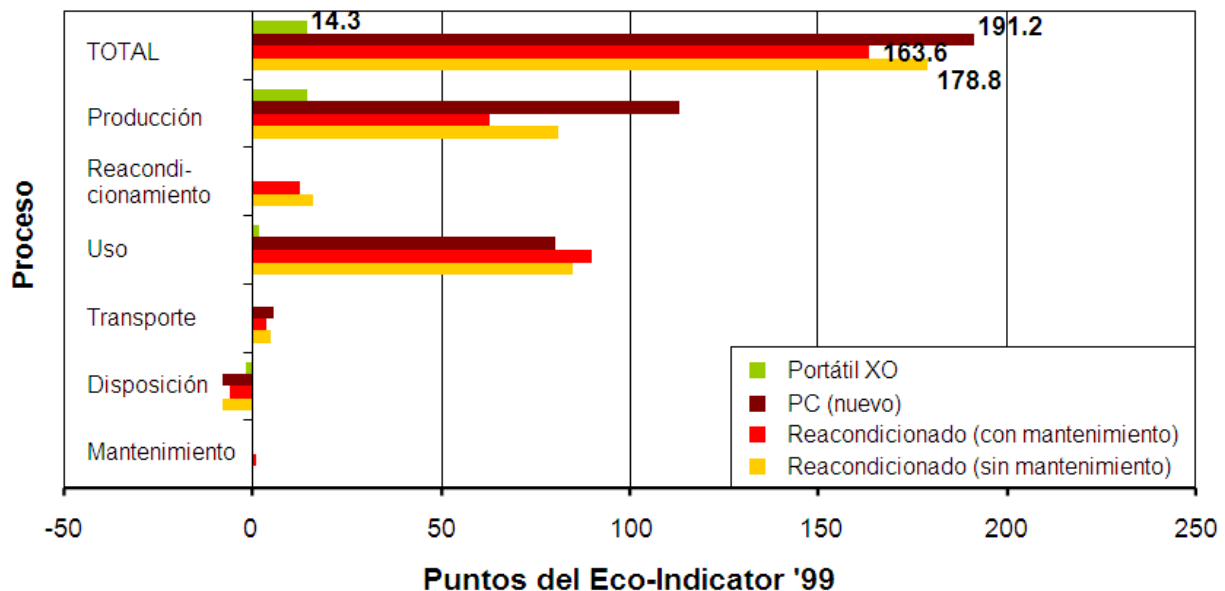


Figura 3: Comparación del desempeño ambiental total (en puntos del Eco-indicador '99) entre un computador reacondicionado (sin/con mantenimiento), un computador reciclado y el "portátil XO".

7 Conclusiones

Aunque no es la solución más rentable, el escenario I "100% reacondicionamiento colombiano" ha confirmado ser el más sostenible. Esto se debe principalmente a la utilización de recursos locales lo que resulta en un alto desempeño ambiental y social. Los escenarios II, III y IV se clasifican casi igual como soluciones segundo más sostenibles. En el escenario II, el CIEN juega un papel

importante. La producción de nuevas piezas para el ensamble conduce a gastos altos y un desempeño ambiental relativamente bajo. Escenario III tiene un bajo rendimiento social positivo ya que el reacondicionamiento se realiza en el extranjero. En el escenario IV, el flujo OFF (computadoras que normalmente entrarían al sistema) junto con una alta cantidad de PCs por reacondicionar en Colombia conducen a un desempeño ambiental relativamente bajo. La siguiente solución más sostenible es el escenario

Va "portátil XO". A pesar de tener el mejor rendimiento ambiental si es considerado de manera individual (Figura 3) y de ser el escenario más rentable, el computador portátil XO no requiere mano de obra local lo que resulta en una menor sostenibilidad global que la de otras estrategias. Sin embargo, OLPC prevé el ensamble local lo que

umentaría el rendimiento social. Además, en los países que no cuentan con un programa de reacondicionamiento tan experimentado, la situación tendría que ser evaluada de otra manera. Se requiere investigaciones adicionales con respecto al reacondicionamiento a escala pequeña en combinación con el portátil XO.

GLOSARIO

Análisis de Flujo de Materiales (AFM): El AFM es un método para la comprensión, la descripción y la interpretación de sistemas de flujos de elementos o materiales. El procedimiento de un AFM consiste en los siguientes cuatro pasos:

1. Análisis del sistema: selección de la delimitación, descripción del sistema a través de bienes y procesos
2. Medición de los flujos de bienes
3. Cálculo de los flujos de elementos o materiales
4. Presentación esquemática e interpretación de los resultados

Brecha digital: Se refiere a la diferencia socio-económica entre las comunidades que tienen acceso a Internet y aquellas que no, aunque también se puede referir al acceso de todas las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Además, este término también hace referencia a las diferencias que hay entre grupos según su capacidad para utilizar las TIC de forma eficaz y aquellas que no.

Ciclo de Vida: es un término creado por los evaluadores ambientales para cuantificar el impacto ambiental de un material o producto desde que se extrae de la naturaleza hasta que regresa al ambiente como residuo. En este proceso sistémico se consumen recursos naturales y se producen emisiones y residuos. La metodología utilizada se denomina *evaluación del ciclo de vida* (ECV) o *life cycle assessment* (LCA).

Eco-indicator '99: El Eco-indicator 99 es una herramienta para evaluar el impacto del ciclo de vida de un producto, desarrollado por PRé Consultants BV. El Eco-indicator 99 ayuda a los diseñadores de un producto a realizar una evaluación ambiental teniendo en cuenta los

materiales y procesos utilizados para su fabricación. El valor resultante del indicador proporciona un análisis fortalezas y debilidades del producto. El Eco-indicator 99 se divide en tres secciones:

1. la producción de materias primas, procesamiento y fabricación,
2. el transporte, uso de energía, consumibles
3. la disposición final

Teoría de la Utilidad de Atributos Múltiples (MAUT): La MAUT es un enfoque sistemático para cuantificar las preferencias de un individuo. Se utiliza para asignar un valor numérico a un cierto grado de interés en una escala de 0 a 1, siendo 0 el peor y 1 el mejor de los casos de preferencia. Esto permite la comparación directa de diversas otras medidas.

Reacondicionamiento: El reacondicionamiento es un proceso técnico en el cual se restablecen completamente las condiciones funcionales y estéticas de un equipo de tal forma que el equipo puede ser usado en un nuevo ciclo de vida. Así, el reacondicionamiento se asimila a un proceso de fábrica realizado por un ente especializado y cuyo resultado en el caso de un computador, es un equipo de similares características al de un equipo nuevo, tales como: pruebas exhaustivas de calidad, empaque, licenciamiento de software, garantía, etc.

Reciclaje: Reciclar es la acción de volver a introducir en el ciclo de producción y consumo materiales obtenidos de residuos. Por ejemplo, reciclar un computador significa que sus partes o las materias primas que forman sus componentes vuelven a emplearse en la industria de fabricación o montaje.

REFERENCIAS

- Angeli, C. (2005). "Transforming a teacher education method course through technology: effects on preservice teacher's technology competency." Computers & Education **45**: 383-398.
- Baccini, P. and H.-P. Bader (1996). Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung. Heidelberg Berlin Oxford, Spektrum Akademischer Verlag.
- Binder, C. R. (1999). The early recognition of environmental impacts of human activities in developing countries, Dissertation. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule ETH
- Bray, M. (2006). Review of Computer Energy Consumption and Potential Savings. D. S. S. L. (DssW).
- Brooks, S., P. Donovan, et al. (2005). "Developing Nations, the Digital Divide and Research Databases." Serials Review **31**: 270-278.
- Brunner, P. H. and H. Rechberger (2004). Practical handbook of material flow analysis. Boca Raton, FL, Lewis Publishers.
- Chinn, M. D. and R. W. Fairlie (2006). "The determinants of the global digital divide: a cross-country analysis of computer and internet penetration." Oxford Economic Papers **59**: 16-44.
- Clark, R. E. (1985). "Cofounding in educational computign research." Journal of Educational Computing Research **1**: 137-147.
- Commerce, U. D. o. (2002). A Nation online: How Americans are expanding their use of the internet Washington DC, US Government Printing office.
- Dasgupta, S., S. Lall, et al. (2001). Policy reform, economic growth and the digital divide: an econometric analysis. Working Paper No. 2567. Washington DC, World Bank.
- ecoinvent Centre (2007) ecoinvent data v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, Online-Version under: www.ecoinvent.ch.
- Economist, T. (2005). The Economist, **29.01.05**: p. 56.
- EMPA. (2007). "e-waste guide." from www.ewaste.ch.
- EMPA and Survey (2004). Draft Final Report 2004 on the Assessment Phase (Phase1)of the Empa/seco Programme in "Knowledge Partnerships with Developing and Transition Countries in e-Waste Recycling" (unpublished report), EMPA, Federal Institute of Material Testing and Research.
- Fuchs, C. and E. Horak (2006). "Africa and the digital divide." Telematics and Informatics.
- Gmünder, S. (2007). Recycling - From Waste to Resource. Departement of Environmental Science. Zürich, ETH. **Master**: 114.
- Goedkoop, M. and R. Spriensma (2001). The Eco-indicator 99. A damage orientated method for life cycle impact assessment. Methodology Report. Amersfoort.
- Hayes, J. and C. W. Allison (1998). "Cognitive style and the theory and prctice of individual and collective learning organizations." Human Relations **51**: 847-871.
- Hilty, L., S. Behrendt, et al. (2003). The Precautionary Principle in the Information Society - Impacts of Pervasive Computing on Health and the Environment. Bern, , TA-Swiss.
- Hilty, L. M. (2005). "Electronic waste-an emerging risk?" Environmental Impact Assessment Review **25**: 431-435.

Computadores para Escuelas: Análisis de sostenibilidad de las estrategias de suministro en países en vía de desarrollo

Hischier, R., P. Wäger, et al. (2005). "Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE)." Environmental Impact Assessment Review **25**: 525-539.

Hofer, P. and R. Aehlen (2002). Die Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs. P. AG. Basel, Bundesamt für Energie BFE.

Hofstetter (1998). Perspectives in Life Cycle Impact Assessment; A Structured Approach to Combine Models of the Technosphere, Ecosphere and Valuesphere. The Netherlands, Kluwer Academic Publisher.

IDC. (2007). "IDC Market Intelligence." from www.idc.com.

James, J. (2002). "Low-cost information technology in developing countries: current opportunities and emerging possibilities." Habitat International **26**: 21-31.

Kozma, R. B. (1991). "Learning with media." Review of Educational Research **61**: 179-211.

Mariscal, J. (2005). "Digital divide in a developing country." Telecommunications Policy **29**: 409-428.

OECD (2001). Extended Producer Responsibility: a guidance manual for governments. Paris Organisation for Economic Co-operation and Development.

OECD (2001). Understanding the Digital Divide. Paris, Organization for Economic Cooperation and Development.

OLPC. (2006). "One Laptop per Child OLPC." <http://laptop.org/>.

Ott, D. (2008). Diagnóstico de la Gestión de los Residuos Electrónicos en Colombia. Medellín, EMPA.

Pinkett, R. D. (2003). "The Digital Divide." Encyclopedia of Information Systems **1**: 615-633.

Powell, A. H. (2007). "Access(ing), habits, attitudes, and engagements: Re-thinking access as practice." Computers and Composition **24**: 16-35.

Puckett, J., L. Byster, et al. (2002). Exporting harm, the high-tech trashing of Asia. Seattle, WA., USA, The Basel Action Network (BAN)

Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC).

Puckett, J., S. Westervelt, et al. (2005). The digital dump, exporting re-use and abuse to Africa. Seattle, WA., USA, The Basel Action Network (BAN).

Rao, S. S. (2005). "Bridging digital divide: Efforts in India." Telematics and Informatics **22**: 361-375.

Rees, W. (1992). "Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out " Environment and Urbanisation **4**.

Renshaw, C. E. and H. A. Taylor (2000). "The educational effectiveness of computer-based instruction." Computers & Geosciences **26**: 677-682.

Richards, S., P. Barker, et al. (1997). "Knowledge Sharing Through Electronic Course Delivery." Innovations in Education and Teaching International **34**(1): 3-10.

Rink, J. (2007). Kinderleicht lernen für alle. Magazin für Computer Technik. **7**: 139-145.

Scholz, R. W. and O. Tietje (2002). Embedded Case Study Methods: Integrating Quantitative and Qualitative Knowledge. California USA, Sage Publications, Inc.

Smith, G. R. (2004). "How green is technology? The paradox of online sustainable education." International Journal of Sustainable Development World Ecology **11**: 262-270.

Sternberg, R. J. (1997). Thinking styles. NY, Cambridge University Press.

Computadores para Escuelas: Análisis de sostenibilidad de las estrategias de suministro en países en vía de desarrollo

Streicher-Porte, M., R. Widmer, et al. (2005). "Key drivers of the e-waste recycling system: Assessing and modelling e-waste processing in the informal sector in Delhi." Environmental Impact Assessment Review **25**(5): 472-491.

SWICO (2006). Batch examination, unpublished work, Swiss Association for Information, Communication and Organisational Technology.

UN (1989). Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. Secretariat of the Basel Convention, United Nations Environment Program.

van Dijek, J. (2006). "Digital divide research, achievements and shortcomings." Poetics **34**(4-5): 221-235.

Widmer, R., H. Oswald-Krapf, et al. (2005). "Global perspectives on e-waste." Environmental Impact Assessment Review **25**(5): 436.

Workman, M. (2004). "Performance and perceived effectiveness in computer-based and computer-aided education: do cognitive styles make a difference?" Computers in Human Behaviour **20**: 517-534.

World Bank (2006). World development indicators database, World Bank, <https://publications.worldbank.org/subscriptions/WDI/SMresult.asp>, accessed on the 11.07.2006.

Zumbühl, D. (2005). Mass Flow Assessment (MFA) and Assessment of recycling strategies for cathode ray tubes (CRTs) for the Cape Metropolitan Area (CMA), South Africa. Departement of Environmental Science. Zürich, ETH. **Master**: 122.