03-038

STUDY OF ECO-EFFICIENCY IN PRODUCT-SERVICE SYSTEM (PSS). IMPLEMENTATION TO WASHING MACHINES.

García Sáez, Elisa; Capuz Rizo, Salvador
Universitat Politècnica de València

Product-Service Systems (PSS) intend satisfy consumer needs by supplying a service instead of the purchase of the product. It has consequences in the final cost for the consumer and in the environmental impact produced in the products/services life cycle. The present study analyzes how to evaluate the eco-efficiency of a PSS, being this understood as the ratio between the environmental impact and the total cost of a product or service during its entire life cycle, with the objective of comparing if the introduction of a PSS represents an improvement in relation to the product replaced. The application case of washing clothes has been analyzed taking into account the electric washing machine purchase for domestic use and two different PSS scenarios.

Keywords: *Product-Service System; eco-efficiency; washing machine*

ESTUDIO DE LA ECOEFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE PRODUCTO-SERVICIO (PSS). APLICACIÓN A LAS MÁQUINAS DE LAVADO

Los sistemas de producto-servicio (PSS) pretenden satisfacer las necesidades de los consumidores proporcionando un servicio en lugar de la adquisición de un producto. Ello tiene implicaciones en el coste afrontado por los consumidores y en el impacto ambiental generado en el ciclo de vida de los productos/servicios. El presente trabajo se analiza cómo evaluar la ecoeficiencia de un PSS, entendida como el ratio entre el impacto ambiental y el coste total de un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, con objeto de poder comparar hasta qué punto la introducción de un PSS supone una mejora respecto el producto sustituido. Como caso de aplicación se ha analizado el lavado de ropa considerando la adquisición de una lavadora eléctrica de uso doméstico y dos escenarios alternativos de tipo sistema de producto-servicio.

Palabras clave: *Sistemas Producto-Servicio; ecoeficiencia; máquinas de lavado*

Correspondencia: Elisa García Sáez elisagarciasaez@gmail.com

1. Introducción y objetivo

Los Sistemas de Producto-Servicio (PSS) se proponen como una herramienta para contribuir al desarrollo sostenible. El concepto principal en el que se basan es el cambio de lo material por lo inmaterial, satisfaciendo las necesidades del usuario no únicamente con productos, sino con productos y servicios que trabajan conjuntamente.

Como dice Tan (2010), los PSS pueden ser un camino hacia un consumo y producción más responsable, desde del punto de vista empresarial (supone más beneficios, una mayor relación con el consumidor y más competitividad en el mercado), del consumidor (obtiene un mayor rendimiento, más utilidades y una satisfacción directa) y desde el punto de vista de la sostenibilidad (es una oportunidad para una mayor eficiencia y suficiencia).

El objetivo del presente estudio es analizar la ecoeficiencia de los PSS, a través de su coste económico y su impacto ambiental. Se tomará como caso práctico el lavado de ropa. Se analizarán tres escenarios, uno corresponde a un sistema de producto tradicional y las otras dos alternativas son PSS. Se estudian tres escenarios, el primero se refiere a una lavadora doméstica en casa, el segundo a un centro de lavado compartido en una comunidad de vecinos (compra y uso común) y el tercero una lavandería de autoservicio (pago a una empresa por el uso de la máquina).

2. PSS

Según Manzini y Vezzoli (2002) un Sistema Producto-Servicio se puede definir como el resultado de una innovación estratégica, cambiando el enfoque del mercado de diseñar y vender únicamente productos físicos, a vender un sistema de productos y servicios los cuales son capaces de satisfacer las demandas específicas del cliente. En 2007 Baines et al. decían: “un PSS es una oferta integrada de producto y servicio que proporciona el valor en el uso. Un PSS ofrece la oportunidad de desacoplar el éxito económico del consumo de material y, por tanto, reducir el impacto ambiental de la actividad económica”. Se abarca el concepto de ‘producción y consumo’ o ‘producto y uso/servicio’ (Mylan, 2014).

Estudiada por algunos autores como Tischner (2002), Tukker (2004), Sundin (2009) o Tan (2010), unas de las clasificaciones de PSS más comunes es según su orientación. Resumiendo lo dicho por ellos se clasifican en:

- **PSS orientados a producto:** donde una serie de servicios complementan al producto que es vendido. Dichos servicios pueden ser mantenimiento, sustitución, actualización, financiación, asesoramiento o reciclaje que mejoran su ciclo de vida o su utilidad.
- **PSS orientados a uso:** la propiedad del producto pertenece proveedor y el consumidor paga por su uso. El consumidor paga por unidad de servicio. El producto puede ser arrendado, alquilado, usado conjuntamente por varios usuarios, puesto en común o existe la posibilidad de pagar por unidad de servicio.
- **PSS orientados a resultado:** el producto físico es prácticamente sustituido por un servicio o resultado funcional. El cliente paga por el resultado que previamente han producido determinados productos, que son propiedad del proveedor. Este posee la libertad para utilizar la tecnología o productos que desee.

3. Presentación de los escenarios

Para el presente estudio se han establecido tres escenarios que serán analizados desde un punto de vista económico y ambiental. Todos ellos tienen la misma función a cumplir: lavar la ropa. Cada uno lo hará con unos productos o servicios distintos.

Tabla 1. Resumen de las principales características de los tres escenarios

ESCENARIO 1: LAVADORA DOMÉSTICA	ESCENARIO 2: CENTRO DE LAVADO COMPARTIDO	ESCENARIO 3: LAVANDERÍA DE AUTOSERVICIO
Sistema de producto tradicional	PSS orientado a uso (uso compartido)	PSS orientado a uso (pago por unidad de servicio)
El usuario compra la lavadora y pasa a ser de su propiedad	El usuario comparte la compra y la propiedad de la lavadora	El proveedor es el que posee la propiedad de la lavadora y el usuario paga por su uso puntual
El usuario es el responsable del mantenimiento de la lavadora	El usuario comparte la responsabilidad del mantenimiento de la lavadora	El proveedor se encarga del mantenimiento de la lavadora
El usuario realiza una gran inversión económica al inicio y luego se encarga de los costes de electricidad y agua	La inversión inicial es menor ya que se divide entre todas las viviendas del edificio, así como los gastos de electricidad y agua	No existe una inversión económica inicial ni costes de electricidad y agua, solo el pago por uso
El usuario solo tiene acceso a una máquina, si se avería, el usuario no puede satisfacer su necesidad	El usuario tiene acceso a 3 máquinas, si alguna se avería, el usuario puede utilizar otra	El usuario tiene acceso a varias máquinas, si alguna se avería puede utilizar otra
Alargan al máximo su vida útil	Al compartir los costes de compra, es más accesible la sustitución por nuevos modelos más ecoeficientes	Al tener un uso más intenso, el proveedor puede ofrecer lavadoras más modernas y ecoeficientes
Por el esfuerzo económico que supone, se suelen comprar lavadoras de nivel bajo-medio	Existe mayor accesibilidad a modelos de una mayor calidad	Lavadoras profesionales de alta gama con tecnologías más avanzadas
Ocupación de espacio en la vivienda	No ocupa espacio en la vivienda	No ocupa espacio en la vivienda
No requiere desplazamiento del usuario	Requiere un desplazamiento bajo del usuario	Requiere un desplazamiento medio del usuario

Escenario 1: lavadora doméstica

El consumidor afronta el coste inicial de la máquina que pasa a ser de su propiedad, será quien la utilizará en exclusiva en su hogar y se encargará de su funcionamiento y mantenimiento durante todo su ciclo de vida.

Escenario 2: centro de lavado compartido en comunidad de vecinos

Centro de lavado compartido en un edificio de viviendas que es usado por todos los inquilinos. Este caso se trata de un PSS ya que el producto ya no es el único actor del sistema, sino que entran en juego otros agentes como la compra común, el uso compartido, etc. En este caso las lavadoras tienen un uso más intenso, por lo que su deterioro será mayor y por consiguiente se tendrán que sustituir con más frecuencia, más concretamente cada cinco años[1]. El coste de sustitución será compartido por todas las viviendas del edificio, así como los costes de mantenimiento asociados.

Escenario 3: lavandería de autoservicio

El usuario se desplaza hasta el punto de lavado y paga por el uso de una lavadora, en este caso paga por ciclo de lavado realizado. Se utilizarán lavadoras industriales de mayor capacidad, por lo que serán necesarios menos ciclos de lavado suponiendo que se lava la misma cantidad de ropa y que el usuario está interesado en optimizar los lavados. Los costes de adquisición y mantenimiento corresponden al proveedor (propietario del negocio).

[1] Rüdenauer et al. (2005) afirman que los ciclos tecnológicos de las lavadoras (el período en el que aparecen avances tecnológicos y se producen lavadoras más eficientes) es de cinco años.

4. Metodología en la que se basa el estudio

4.1. Unidad funcional y uso del producto

Como unidad funcional se establece el cumplimiento de la función de lavado de ropa de 24 viviendas (las equivalentes a un edificio) durante quince años, periodo que equivale a la vida útil (incluyendo reparaciones) de una lavadora según IHOBE (2010), utilizando programas de lavado a 30ºC, 40ºC, 60ºC y 90ºC en sus porcentajes de uso correspondientes. Se establece que cada vivienda realiza unos 220 ciclos de lavado por año utilizando una lavadora doméstica, que es el valor que emplea la Etiqueta Energética Europea para lavadoras, como estándar a la hora de informar sobre su consumo. En base a esa cifra, en una lavadora industrial se realizarán 100 ciclos ya que poseen mayor capacidad y se supone que se lava la misma cantidad de ropa y se intenta optimizar los ciclos de lavado. El periodo de quince años que es analizado corresponde desde el año 2000 hasta el año 2014 ambos incluidos ya que el objetivo final es la comparación del consumo e impacto ambiental de una lavadora doméstica funcionando durante esos quince años (a la que se le aplican dos reparaciones) y otros escenarios donde se va sustituyendo por tecnologías más eficientes que van apareciendo en el mercado o se utiliza otro tipo de método de pago. El año 2000 es el año base para dicha comparación.

Así, el primer escenario lo componen 24 lavadoras en total. El centro de lavado compartido del segundo escenario está compuesto por 3 lavadoras para las 24 viviendas. La lavandería de autoservicio está formada por varias lavadoras industriales pero sólo se considerará la parte proporcional de uso de las 24 viviendas.

4.2. Metodología para el análisis económico

Para el análisis económico se utilizará el Total Cost Ownership o TCO (Coste Total de la Propiedad), que reúne todos los costes asociados al ciclo de vida del producto y, en este caso, al sistema de productos y servicios, afrontados por el usuario. Según Lisa Ellram (1995) el TCO es una metodología y filosofía que va más allá del precio de compra, incluyendo cualquier otro coste relacionado con la compra del producto. Según EDUCASE (2004), en un TCO podemos identificar 5 etapas: adquisición, implementación, operaciones, mantenimiento y sustitución. En el caso de este análisis, los costes asociados son el coste de adquisición del producto, de transporte, el coste de energía consumida durante toda la vida de la lavadora, el coste del agua consumida en ese mismo periodo, el coste de detergente y suavizante, los costes de reparación (mantenimiento) y el coste de eliminación del producto.

Debido a la *Directiva Europea 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos*, se le incluye en el precio de compra los costes referentes a la eliminación del producto de la que los productores están obligados a hacerse cargo. No se tendrá en cuenta el gasto de detergente y suavizante, ya que para cada uno de los tres escenarios su uso sería el mismo y depende del comportamiento del usuario. Así que dada la dificultad de medida, el mínimo impacto sobre el resultado, y la finalidad de este estudio, que está orientado a la comparación de los escenarios alternativos, no se tendrá en cuenta.

Por lo tanto el TCO es:

$$TCO = C_{compra} + C_{uso\ 2000\text{-}2014} + C_{reparación\ 2000\text{-}2014}\ ^{2}; \quad (1)$$

donde el coste de uso es la suma del coste de la electricidad, del agua y del precio de lavado durante los 15 años. El coste de la electricidad se obtiene multiplicando el consumo de electricidad (kWh/kg), el número de ciclos de lavado por año, el número de viviendas del caso de estudio, la capacidad de la lavadora (kg/ciclo) y el precio de la electricidad (€/kWh). Por su lado, el coste del agua utilizada se obtiene multiplicando el consumo de agua (l/kg), el número de ciclos, el número

[2] C_{compra} = coste de compra; $C_{uso\ 2000\text{-}2014}$ = coste de uso durante los 15 años; $C_{reparación}$ = coste de reparación. El coste de reparación se podría incluir en los costes de uso, pero se calcula independientemente para facilitar el proceso de cálculo.

de viviendas, la capacidad de la lavadora (kg) y el precio del agua (€/l). El precio de lavado se aplica en el escenario 3 donde se paga por cada lavado.

Para hacer un balance general se calcula el VAN (Valor Actual Neto). Para poder hacer una comparación de los costes producidos cada año, todo el flujo económico se lleva al año base de comparación, en este caso el año 2000, descontando el efecto la inflación y considerando el coste de oportunidad. Siendo así:

$$VAN = \sum_{t=1}^{n} \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (2)$$

donde I_o es la inversión, V_t es el flujo de caja del año n, k es el coste de oportunidad o tasa de interés con la que estamos comparando y N el número de años de la inversión.

Los costes de reparación corresponden a un porcentaje del valor de compra. Para el análisis se supondrá que en el escenario en el que sea necesario, se deberá realizar una reparación a los 5 años, que supondrá un 10% del valor de compra, y otra a los 10 años, que será un 20%.

4.3. Metodología para el análisis ambiental

Para el análisis ambiental se utilizará un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), herramienta objetiva y cuantitativa. Definida en la UNE-EN ISO 14040:2006, “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto”. Para la medición se utilizará el Ecoindicador’99. Los ecoindicadores son valores que expresan la carga ambiental total de un producto o proceso (Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment, 2000). El Ecoindicador´99 es una herramienta elaborada por Mark Goedkoop, Suzanne Effting y Marcel Collignon para PRé Consultants B.V., en Holanda y fue creada principalmente para que los diseñadores puedan valorar globalmente el impacto de un producto o servicio. Estos valores se expresan en una unidad propia llamada ‘punto Eco-indicador’ (Pt).

El impacto ambiental (IA) de una lavadora será:

$$IA_{lavadora} = IA_{fabricación} + IA_{distribución} + IA_{uso} + IA_{reparación} + IA_{fin\ de\ vida} \quad (3)$$

El impacto dentro de cada caso dependerá del número de lavadoras que se necesiten, de su frecuencia de uso, de su año de fabricación y de su consumo. Se tendrá en cuenta el impacto de fabricación, de distribución y de uso. El impacto de mantenimiento se suponen dos reparaciones por lavadora, a los 5 años y a los 10 años, suponiendo un impacto del 5% sobre el impacto de fabricación la primera y un 10% la segunda. No se tendrá en cuenta el impacto de fin de vida ya que no se poseen los datos necesarios para su cálculo y la repercusión de éste es mínima (-2% según IHOBE, 2010).

4.4. Ecoeficiencia

Según el Programa Ambiental de las Naciones Unidas y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (PNUMA / WBCSD, 1998), ‘la ecoeficiencia’ se logra mediante la entrega de bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas a precios competitivos y mantengan la calidad de vida, al tiempo que reduce progresivamente el impacto ecológico y la intensidad de recursos a lo largo del ciclo de vida. Conseguir productos y sistemas más ecoeficientes es beneficioso tanto desde el punto de vista ambiental como desde el punto de vista económico. La ecoeficiencia es la suma de la economía y la ecología.

El potencial de ecoeficiencia de un PSS depende de la optimización del ciclo de vida, la extensión de la vida de los materiales, la minimización del consumo de recursos, la facilidad para adoptar nuevas tecnologías y la facilidad de sustitución de productos obsoletos por otros más ecoeficientes (Vezzoli, Kohtala y Srinivasan, 2014).

La comparación de la ecoeficiencia de los tres escenarios se representará mediante el método de BASF. El objetivo del análisis de ecoeficiencia de BASF es cuantificar la sostenibilidad de productos o procesos (Saling et al. 2002). Este método es una extensión del ACV ya que ayuda a

interpretar los datos obtenidos de este. El impacto total ambiental y económico de cada alternativa se representan en una gráfica donde el eje de las abscisas representa el coste económico y el eje de ordenadas el impacto ambiental (Charlene et al. 2004). Los productos que se sitúan por encima de la diagonal se consideran de alta ecoeficiencia y los que se sitúan por debajo de esta se consideran de baja ecoeficiencia.

4.5. Datos en los que se basa el estudio

Costes de adquisición

Para los escenarios 1 y 2 se ha supuesto que se utilizan lavadoras domésticas de carga frontal de un nivel de calidad medio, con 5 kg de carga, y se les supone un precio de 471 €[3]. Los costes de transporte y eliminación del producto se supone que van incluidos en este precio. En el escenario 2 en el que se adquieren varias lavadoras a lo largo del tiempo, se contabilizará siempre el mismo precio de compra, ya que calculando el VAN se supone que el valor del bien se mantiene, y por tanto el precio será el mismo. En el escenario 3 el precio de compra y cuántas lavadoras es necesario comprar no afecta al usuario, ya que es el proveedor el que se hace cargo de ese coste. Lo que deberá pagar el usuario es el precio por lavado, que será de 4 €[4].

Consumo eléctrico

Dependiendo del escenario se utilizan lavadoras fabricadas en distinto año con un consumo distinto. El consumo también variará dependiendo de si se trata de una lavadora doméstica o una lavadora industrial de autoservicio. En este estudio se contemplan lavadoras fabricadas en los años 2000, 2005 y 2010 que funcionan a 30ºC (21%), 40ºC (36%), 60ºC (34%) y 90ºC (9%)[5]. Con los valores del consumo por ciclo a cada temperatura se obtiene la media ponderada del consumo de un ciclo (kWh/kg) según el año de fabricación de la lavadora. Aplicando lo especificado en la Ecuación 1 se obtiene el consumo energético según año de fabricación de la lavadora.

Consumo de agua

El consumo de agua no varía con la temperatura de lavado, pero sí lo hace según el año de fabricación de la lavadora. Aplicando lo especificado en la Ecuación 1 se obtiene el consumo de agua según su año de fabricación.

5. Análisis económico

5.1. Escenario 1: lavadora doméstica

El coste de adquisición de las 24 lavadoras en el año 2000 es de 11.304 €. En este caso, para calcular el consumo de energía y agua sólo importa el valor de consumo del año 2000, que multiplicándolo por su precio se obtiene el coste en un año. Para calcular el coste de reparación se aplica el 10% del coste de adquisición para la primera reparación a los 5 años y el 20% para la segunda a los 10 años. Calculados el coste de adquisición, de uso y de reparación se calcula el TCO, calculando posteriormente el VAN para poder sumar homogéneamente los costes producidos a lo largo de todo el periodo considerando (Fig. 1).

5.2. Escenario 2: centro de lavado compartido

Se supone que se utilizan lavadoras domésticas, así que se emplearán los mismos datos de capacidad y consumo que en el escenario 1. Siguiendo el dato que dice que el ciclo tecnológico en

[3] Precio obtenido del modelo WF70F5E5U4W/EC de Samsung vendido en un punto de venta de la cadena Media Markt.
[4] Precio obtenido de una cadena de lavanderías de autoservicio situada en la ciudad de Valencia.
[5] Los porcentajes corresponden al porcentaje de lados según la temperatura de lavado con respecto al total (Devolvere et al. 2006).

una lavadora es de 5 años (Rüdenauer et al. 2005), las tres lavadoras se sustituirán por otras nuevas más eficientes cada 5 años, así que cada 5 años se añadirá el coste de compra de las 3 lavadoras que será afrontado por las 24 viviendas. Así, en cada intervalo cambiará el consumo de energía eléctrica y agua de las lavadoras debido a la mejora de la ecoeficiencia de las máquinas. Se supone que en ese periodo las lavadoras no necesitan reparación (Fig. 2). También se calcula el VAN.

5.3. Escenario 3: lavandería de autoservicio

En este escenario no hay propiedad desde el punto de vista del usuario (sí que lo habría desde el punto de vista del proveedor). Así que en este análisis la propiedad se refiere al coste por utilizar un servicio o al coste total de la satisfacción de la necesidad. Tanto el coste de adquisición como de reparación corren a cargo del proveedor. El usuario sólo tiene que hacerse cargo del coste por ciclo (en realidad no es un coste, es un precio, en este caso 4 €) (Fig. 3). Como en los casos anteriores se calcula el VAN sumar los costes.

Figura 1. Cálculo del TCO final del escenario 1. Euros constantes del año 2000

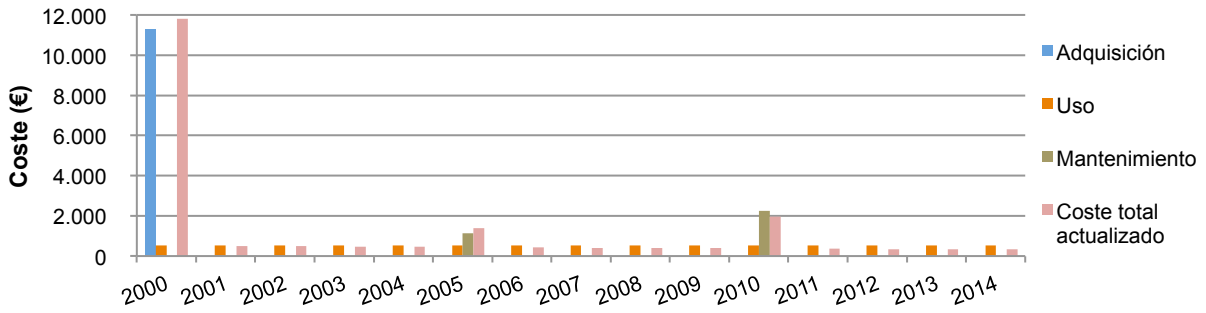


Figura 2. Cálculo del TCO final del escenario 2. Euros constantes del año 2000

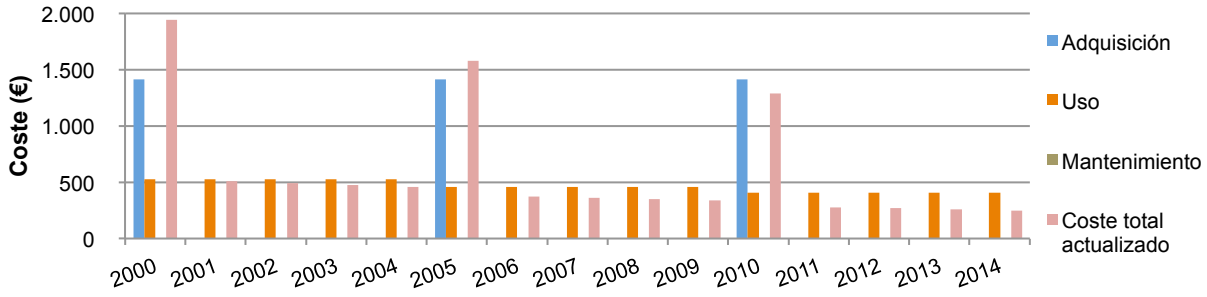
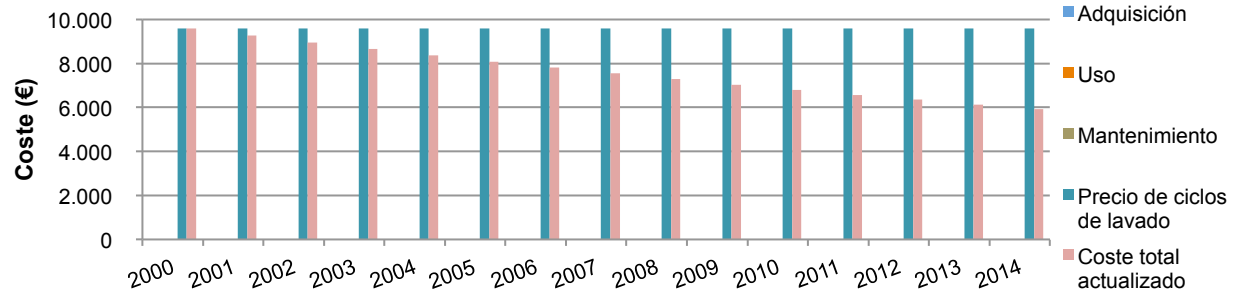


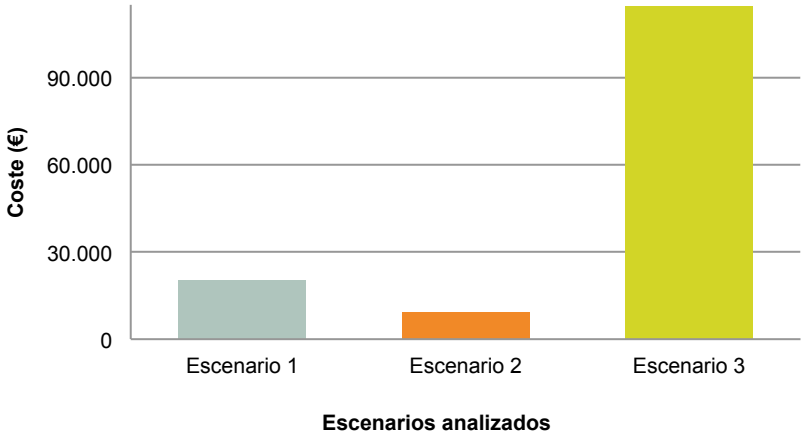
Figura 3. Cálculo del TCO final del escenario 3. Euros constantes del año 2000



5.4. Comparación de escenarios

Una vez calculados los tres escenarios se comparan para ver cuál de ellos tiene un menor coste total. El tercer escenario se desmarca rápidamente ya que tiene un coste bastante mayor, 114.437,64 €. Respecto a los otros dos escenarios, con el uso del centro de lavado compartido se reduce el coste total, pasando de 20.143,84 € del escenario 1 a 9.218,55 € del escenario 2. La expresión gráfica que compara los tres escenarios es la siguiente:

Figura 4. Comparación del coste económico de los tres escenarios durante 15 años. Euros constantes del año 2000



6. Análisis ambiental

Dada la complejidad de un ACV y la dificultad de obtención de datos por parte de las empresas, se ha decidido basar el análisis ambiental de las lavadoras domésticas en los datos proporcionados por IHOBE (2010) en su *Guía Sectorial*. Para el caso de la máquina industrial de autolavado se ha utilizado la información proporcionada por el fabricante. La unidad de medida del impacto será el 'milipunto Eco-indicador' (mPt).

6.1. Escenario 1: lavadora doméstica

Para el cálculo del impacto total se tiene en cuenta el impacto de fabricación (recursos utilizados y energía empleada para procesarlos), el de distribución (China-Algeciras-Madrid-Valencia) y el de uso (impacto de electricidad utilizada, agua y de mantenimiento). Según esto, el impacto ambiental de 24 lavadoras domésticas fabricadas en el 2000 funcionando entre los años 2000-2014 ambos incluidos es:

Tabla 2. Impacto ambiental total del escenario 1

	Impacto (mPt)
Impacto de fabricación 24 lavadoras	851.572,24
Impacto distribución 24 lavadoras	76.642,47
Impacto uso 24 viviendas	
Impacto energía consumida por 24 lavadoras durante 15 años	3.045.715
Impacto agua consumida por 24 lavadoras durante 15 años	124.581
Impacto de 2 reparaciones por cada lavadora	139.233
IMPACTO TOTAL DEL CASO 1	**4.237.746**

6.2. Escenario 2: centro de lavado compartido

Se utilizan las mismas cifras de impacto de fabricación y distribución que en el escenario 1. Para este escenario se utiliza la misma lógica que en el escenario 1, con la diferencia de que se disponen de sólo 3 lavadoras que se van sustituyendo cada 5 años por otras 3 más eficientes (se utilizan un total de 9 lavadoras en los 15 años). Se contabiliza el impacto de fabricación, distribución y uso.

Tabla 3. Impacto ambiental total escenario 2

		Impacto (mPt)
Impacto de fabricación 9 lavadoras		319.340
Impacto distribución 9 lavadoras		28.740
Impacto uso 24 viviendas		
	Energía consumida por 24 viviendas durante 15 años	2.760.352
	Agua consumida por 24 viviendas durante 15 años	102.273
Impacto de reparación		0
IMPACTO TOTAL DEL CASO 2		**3.210.707**

6.3. Escenario 3: lavandería de autoservicio

Para el análisis ambiental del tercer escenario se analiza el impacto de la trigésimo novena parte de una lavadora industrial de autoservicio fabricada en el año 2000, ya que se tiene en cuenta el impacto que corresponde a las 24 viviendas analizadas, considerando la duración del ciclo de lavado, los ciclos realizados y las horas diarias que el establecimiento permanece abierto. Se tendrá en cuenta el impacto de fabricación (recursos y energía para procesarlos), distribución (mismo recorrido que en el escenario 1), uso (energía y agua) y reparación (dos reparaciones a los 5 y 10 años). Por tanto:

Tabla 4. Impacto ambiental total escenario 3

		Impacto (mPt)
Impacto de fabricación 0,39 lavadoras		45.693
Impacto distribución 0,39 lavadoras		4.048
Impacto uso 24 viviendas		
	Energía consumida por 24 viviendas durante 15 años	1.195.638
	Agua consumida por 24 viviendas durante 15 años	121.680
Impacto de reparación de 0,39 lavadoras		7.461
IMPACTO TOTAL DEL CASO 3		**1.374.523**

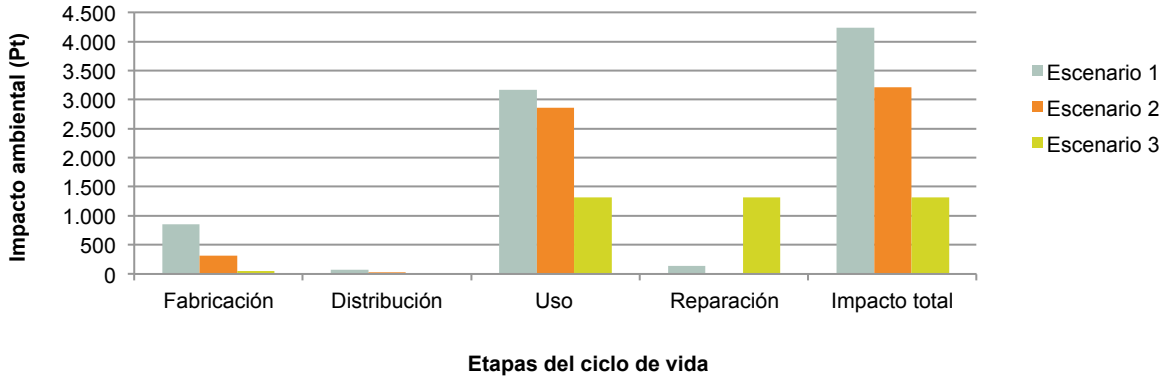
6.4. Comparación de escenarios

Según el análisis ambiental, cada caso tiene menos impacto que el anterior. Se pasa de 4.237.746 mPt del impacto del escenario 1, a 3.210.707 mPt del escenario 2 a 1.374.523 mPt del escenario 3, siendo esta última diferencia la mayor reducción de impacto.

Como puede apreciarse en la Fig. 5, el mayor impacto se da en las fases de fabricación y principalmente en la de uso. En la fase de fabricación se da una gran diferencia entre los escenarios 1 y 2, siendo mayor el impacto de fabricación de las 24 lavadoras del escenario 1. Sin embargo, en la fase de uso la mayor diferencia está entre el caso 2 y 3, por lo que se puede decir que al tener una lavadora industrial y con mayor capacidad el impacto es bastante menor.

Con esto se llega a la conclusión que los factores claves son la fabricación y el consumo. La desmaterialización de los escenarios 2 y 3 hace que su impacto ambiental disminuya en gran proporción, lo que demuestra que es una estrategia interesante a seguir hacia un sistema sostenible. El segundo factor importante es el consumo. El tener acceso a máquinas más ecoeficientes con una tecnología más avanzada hace que el consumo y por tanto el impacto disminuya. Si además se trata de maquinaria profesional, con tecnologías aún más avanzadas, la reducción del impacto es mayor, como sucede en el escenario 3. La reducción del impacto de la fase de uso del escenario 3 también se debe a la mayor capacidad de la lavadora y por tanto al menor número de lavados.

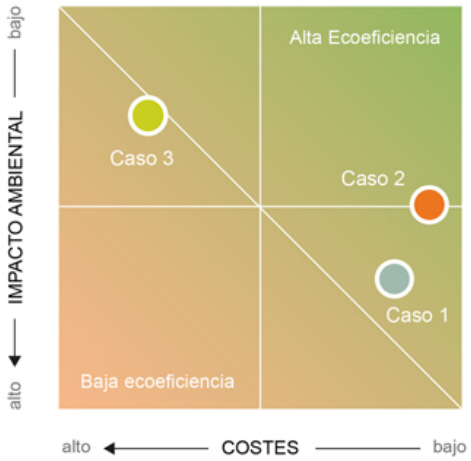
Figura 5. Comparación de impactos ambientales de los tres escenarios de estudio durante 15 años (expresado en Pt de impacto)



7. Análisis de la ecoeficiencia

A continuación se analizará la ecoeficiencia. En el estudio de la ecoeficiencia participan los dos factores que se han analizado: el económico y el ambiental. Siguiendo el método de representación gráfica de la ecoeficiencia utilizado por BASF, se representan los tres casos que se han estudiado:

Figura 6. Análisis de la ecoeficiencia de los tres escenarios de estudio



Entre el escenario 1 y 2, el primero tiene un coste y un impacto mayor, así que en esta comparación el 2 es más ecoeficiente. Entre el escenario 2 y 3, el segundo tiene un coste bastante menor que el tercero, aunque este tiene un impacto ambiental bastante menor. Lo mismo sucede comparando el caso 1 y 3, en el que el 1 tiene un coste menor, pero el 3 es el que posee un impacto menor. Si hay que guiarse únicamente por el aspecto ambiental el escenario 3 sería la opción más apropiada. Si el aspecto primordial es el económico, entonces el 2 sería la solución. Si los dos aspectos son importantes, se debería ponderar la importancia que se le da a cada uno, pero probablemente el escenario 2 sería el más equilibrado en cuanto a impacto ambiental y costes.

8. Conclusiones

Mediante el estudio de los tres escenarios propuestos se ha llegado a la conclusión de que el escenario 2 en el que una comunidad de vecinos comparten tres máquinas de lavado es un escenario con un impacto menor al escenario tradicional y también posee un coste total menor para el usuario. En este estudio se ha analizado el periodo desde el año 2000 hasta el 2014, suponiendo que la evolución desde 2014 hacia el futuro seguirá la misma tendencia y por tanto justificando su validez para futuras acciones.

Tras el estudio de la bibliografía y el análisis de los escenarios, se ha llegado a la conclusión de que las claves para los PSS que se han propuesto es la desmaterialización y la sustitución de maquinaria. Se ha demostrado cómo el disminuir el número de lavadoras fabricadas disminuye el impacto ambiental. El uso compartido además disminuye el coste total para los usuarios. Por otro lado, el poder sustituir la maquinaria por otra con una tecnología más avanzada, disminuye el consumo de uso del producto, disminuyendo el coste y el impacto de uso. Los escenarios analizados demuestran cómo el uso compartido que permite utilizar maquinaria más avanzada, reduce los costes y el impacto. Este perfil de PSS se puede aplicar a aquellos productos que consuman energía su uso, para otro tipo de productos se deberán utilizar otras estrategias también comprendidas dentro de los PSS, como por ejemplo la extensión de vida del producto.

Aún así, como más autores han afirmado, los PSS son una buena alternativa pero todavía se necesita un mayor conocimiento en cuanto a sus ventajas y desventajas, sus limitaciones a la hora de su implementación, los procesos para llevarlos a cabo y su impacto ambiental.

9. Referencias

AENOR (2006). UNE-EN ISO 14040: 2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Madrid: AENOR.

Besch, K. (2004). *Product Service Systems for Office Furniture Barriers and Opportunities on the European Market.* Suecia: IIIEE, Lund University.

Beuren, F.; Gomes, M. & Cauchick, M. (2013). Product-service systems: a literature review on integrated products and services. *Journal of Cleaner Production*, *47*, *222-231*.

Ellram, L. (1995). Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *25*, *4-23*.

ETH (2011). *Washing Machine. ETH Sustainability Summer School 2011*. Zurich; Suiza: ETH Sustainability.

Goedkoop, M.; & Spriensma, R. (2001). *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment.* Países Bajos: Pré Consultans B.V.

IHOBE (2010). *Guías sectoriales de ecodiseño eléctrico-electrónico.* Bilbao: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.

IHOBE (2010). *Manual práctico del Eco-indicador 99.* Bilbao: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.

Manzini, E. & Vezzoli, C. (2002). *Product-Service Systems and Sustainability.* París; Milán: UNEP.

Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment (2000). *Eco-indicator 99 Manual for Designers e a Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment.* Países Bajos.

Mylan, J. (2014). Understanding the diffusion of Sustainable Product-Service Systems: Insights from the sociology of consumption and practice theory. *Journal of Cleaner Production*, *1-8*.

Rüdenauer, I.; Gensch, C. & Quack, D. (2005). *Eco-Efficiency Analysis of Washing machines – Life Cycle Assessment and determination of optimal life span.* Alemania: Öko-Institut e.V.

Sáiz, C. & Capuz, S. (2013). Intelligent replacement in products based on ecoefficiency. Application in an electric washing machine. Universidad Politécnica de València. *17th International Congress on Project Management and Engineering Logroño, 2013.*

Saling, P. et al. (2002). Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *7*, *203-218*.

Sundin, E.; Lindhal, M. & Ihomah, W. (2009). Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *20*, *723-753*.

Tan, A. (2010). *Service-oriented product development strategies.* PhD thesis. Lyngby: Technical University of Denmark (DTU).

Tukker, A. (2004). *Eight types of Product-Service System: eight ways to sustainability? Experiences from Suspronet.* Delft: John Wiley & Sons.

Tukker, A. & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production, 14*, *1552-1556*.

Vezzoli, C.; Kothala C. & Srinivasan, A. (2014). *Product-Service System Design for Sustainability.* Sheffield: Greenleaf Publishing Limited.

Wall-Markowski, C.; Kicherer, A. & Saling, P. (2004). Using eco-efficiency analysis to assess renewable-resource-based technologies. *Environmental Progress*, *23*, *329-333*.

West, R. & Daigle, S. (2004). *Total Cost of Ownership: A Strategic Tool for ERP Planning and Implementation*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. USA: EDUCASE.

9.2. Referencias a páginas web

http://tools.professional.electrolux.com/Mirror/Doc/BR/BR_9JLBP_1_130_4_9_9JLBPE.pdf. (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014.

http://www.albertalaundry.com/_mndata/ale/uploaded_files/Environmental%20decl_eng_low.pdf. (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014.

http://www.cfsd.org.uk/conferences/tspd6/tspd6_3s_cases.html. (n.d.) Obtenido el 24 de junio de 2014.

http://www.laundrysystems.electrolux.no/Files/pdf_files2/ljungby/service%20manual/SM_438920151_W365_3300H_Clarus_EN.pdf. (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014.