

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estimación del consumo energético y emisiones de CO₂ en
el ciclo de vida de toallas de papel y secadores eléctricos**
Proyecto de investigación

Claudia Sofía Cárdenas Mendieta

Ingeniería Ambiental

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Ambiental

Quito, 18 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Estimación del consumo energético y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida
de toallas de papel y secadores eléctricos**

Claudia Sofía Cárdenas Mendieta

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

René Parra, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 18 de mayo de 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Claudia Sofía Cárdenas Mendieta

Código:

00108758

Cédula de Identidad:

1723821144

Lugar y fecha:

Quito, mayo de 2017

Resumen

La higiene de las manos es importante para evitar enfermedades infecciosas. Eliminar la humedad después del lavado evita la transmisión de gérmenes patógenos. Existen varios métodos para el secado de manos, cuyas connotaciones ambientales están siendo objeto de investigación, especialmente en lo relacionado con las emisiones de gases de efectos invernadero. La Universidad San Francisco de Quito (USFQ) cuenta en sus instalaciones con toallas de papel y secadores eléctricos convencionales, como alternativas para el secado de manos. En su afán de reducir su huella de carbono, la USFQ requiere contar con información específica sobre el aporte emisor de estas alternativas. Con este objetivo, se estimaron los consumos de energía y las correspondientes emisiones de CO₂, asociadas al ciclo de vida de las toallas de papel y secadores eléctricos, tomando como unidad de referencia, tres años académicos consecutivos. Los resultados indican que actualmente las toallas de papel generan menor consumo energético y menor emisión de CO₂ (1.55 kWh y 0.51 kg CO₂, per cápita) que los secadores eléctricos convencionales (2.22 kWh y 0.85 kg CO₂, per cápita). En un escenario que considera el cambio a secadores eléctricos de alta velocidad se reduciría el consumo energético y las emisiones de CO₂ (0.60 kWh y 0.24 kg CO₂, per cápita). Sin embargo, de producirse este cambio, la reducción global de la huella de carbono sería marginal (menor al 0.1%), en razón de que existen otros sectores, como el transporte terrestre y aéreo; que tienen una participación preponderante en el cálculo de la huella de carbono de la institución.

Palabras clave: USFQ, Quito, huella de carbono, factor de emisión eléctrico.

Abstract

Hand hygiene is important to avoid acquiring infectious diseases. Remove moisture after washing prevents the transmission of pathogens. There are several methods for hand drying whose environmental connotations are a subject of interest, especially in greenhouse gasses emissions. San Francisco de Quito University (USFQ) has paper towels and electric hand dryers, within its facilities, as alternatives for hand drying. In the interest of reducing its carbon footprint, USFQ requires specific information about the emitting contribution of these alternatives. Consequently, energy consumption and corresponding CO₂ emissions, associated to the life cycle of paper towels and electric hand dryers, were estimated, taking as reference unit, three consecutive academic years. The results indicate that paper towels currently generate lower energy consumption and lower CO₂ emissions (1.55 kWh and 0.51 kg CO₂, per capita) than conventional electric hand dryers (2.22 kWh and 0.85 kg CO₂, per capita). In a scenario that considers a change to high speed electric hand dryers, energy consumption and CO₂ emissions get reduced (0.60 kWh and 0.24 kg CO₂, per capita). However, if this change is made, the overall reduction of the carbon footprint is marginal (less than 0.1%), because other sectors, such as land and air transportation; have a preponderant participation in the calculation of the carbon footprint of the institution.

Key words: USFQ, Quito, carbon footprint, electric emission factor.

Tabla de contenido

Introducción	12
Antecedentes	13
Método	15
Definición del problema y establecimiento de objetivos	16
Objetivo.....	16
Unidad funcional.....	16
Hipótesis y simplificaciones	16
Límites del sistema y marco de aplicación	18
Inventario	18
Ciclo de vida de toallas de papel.....	18
Extracción de recursos y producción de materiales.....	18
Montaje.	27
Uso.	28
Reciclaje.....	28
Disposición final.	29
Transporte.	29
Ciclo de vida de secadores eléctricos.....	35
Extracción de recursos y producción de materiales.....	35
Montaje.	37
Uso.	37
Reciclaje.....	38
Disposición final.	39
Transporte.	39
Factor de emisión eléctrico Ecuador 2015	41

Interpretación del inventario	43
Toallas de papel	44
Secadores eléctricos	46
Optimización.....	48
Huella de carbono	54
Conclusiones	55
Referencias.....	60
Anexo A: Precios de productos.....	65

Índice de tablas

Tabla 1. Cantidad de rollos de toallas de papel y bolsas de basura utilizados en cada mes en un año académico en la USFQ.....	20
Tabla 2. Descripción de producto y sus cantidades en un año académico en la USFQ.....	21
Tabla 3. Porcentaje de importaciones de pasta de papel, guata de celulosa o napa de fibras de celulosa realizadas por Kimberly-Clark Professional en Ecuador a Colombia, Perú, Estados Unidos, Brasil, Argentina y China en 2015	22
Tabla 4. Datos de consumo de energía para los diferentes materiales implicados en el ciclo de vida de toallas de papel.....	24
Tabla 5. Peso de cada producto implicado en el ciclo de vida de toallas de papel.....	26
Tabla 6. País de fabricación de cada producto y factor de emisión eléctrico asociado	27
Tabla 7. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a toallas de papel en la fase de extracción de recursos y producción de materiales durante tres años académicos en la USFQ	27
Tabla 8. Datos de consumo de energía para el reciclaje de cartón, ABS, HDPE y LDPE	28
Tabla 9. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a toallas de papel en la fase de reciclaje durante tres años académicos en la USFQ	29
Tabla 10. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a toallas de papel en la fase de disposición final durante tres años académicos en la USFQ	29
Tabla 11. Porcentaje de transporte marítimo y terrestre de pasta de papel, papel, guata de celulosa o napa de fibras de celulosa procedentes de Colombia y Perú en 2015	30
Tabla 12. Factores de consumo de combustible, energía y emisión de CO ₂ , para transporte terrestre nacional e internacional, y transporte marítimo internacional asociados al ciclo de vida de toallas de papel.....	32

Tabla 13. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a toallas de papel en la fase de transporte durante tres años académicos en la USFQ.....	35
Tabla 14. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de extracción de recursos y producción de materiales durante tres años académicos en la USFQ.....	37
Tabla 15. Población estudiantil docente y personal administrativo en 2015 en la USFQ.....	38
Tabla 16. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de uso durante tres años académicos en la USFQ.....	38
Tabla 17. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de reciclaje durante tres años académicos en la USFQ.....	39
Tabla 18. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de disposición final durante tres años académicos en la USFQ.....	39
Tabla 19. Consumo de energía y emisión de CO ₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de transporte durante tres años académicos en la USFQ.....	41
Tabla 20. Consumo de combustibles para generación eléctrica en Ecuador en 2015	42
Tabla 21. Poder calorífico, contenido de carbono y densidad de combustibles	43
Tabla 22. Consumo total de energía y emisión total de CO ₂ en el ciclo de vida de toallas de papel y secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ.....	43
Tabla 23. Consumo total de energía y emisión total de CO ₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.....	50
Tabla 24. Emisión de CO ₂ total en el ciclo de vida, emisión per cápita y porcentaje de la huella de carbono de estudiantes, y docentes y personal administrativo, en cada método de secado de manos en la USFQ en 2015	55
Tabla 25. Precio de cada producto.....	65

Índice de figuras

Figura 1. Límites del sistema y etapas del ciclo de vida asociadas a secadores eléctricos y toallas de papel.....	18
Figura 2. Modelo de dispensador estándar utilizado en la mayoría de baños de la USFQ.....	25
Figura 3. Modelo de tacho de basura estándar utilizado en la mayoría de los baños de la USFQ.	25
Figura 4. Mapa de las distintas localizaciones para transporte de productos. El mapa general representa el transporte marítimo (Long Beach, Callao - Guayaquil). El círculo superior ilustra el transporte terrestre internacional (Bogotá – Guayaquil) y el círculo inferior el transporte terrestre nacional más representativo (Guayaquil – USFQ).	34
Figura 5. Secador eléctrico convencional de aire caliente, modelo HK-1800ES, marca FastDry, utilizado en la USFQ.....	36
Figura 6. Mapa de las distintas localizaciones para transporte de productos. El mapa general representa el transporte marítimo (Shanghái - Guayaquil). El círculo ilustra el transporte terrestre nacional más representativo (Guayaquil – USFQ).	41
Figura 7. Comparación de consumo de energía (MWh) en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales y toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.	44
Figura 8. Comparación de emisión de CO ₂ (t CO ₂) en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales y toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.....	44
Figura 9. Diagrama de estimación de consumo de energía y emisiones de CO ₂ en el ciclo de vida de toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.....	45
Figura 10. Porcentaje de consumo total de energía y emisión total de CO ₂ correspondiente a cada etapa del ciclo de vida de toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.	46
Figura 11. Diagrama de estimación de consumo de energía y emisiones de CO ₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales en un tres años académicos en la USFQ.	47

Figura 12. Porcentaje de consumo total de energía y emisión total de CO ₂ correspondiente a cada etapa del ciclo de vida de secadores eléctricos en tres años académicos en la USFQ. ...	48
Figura 13. Secador eléctrico de alta velocidad marca XLERATOR.	49
Figura 14. Consumo de energía (MWh) en el ciclo de vida de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales y secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.	51
Figura 15. Emisión de CO ₂ (t CO ₂) en el ciclo de vida de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales y secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.	52
Figura 16. Porcentaje de consumo total de energía y emisión total de CO ₂ correspondiente a cada etapa del ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.....	53
Figura 17. Diagrama de estimación de consumo de energía y emisiones de CO ₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.	53

Introducción

Desde mediados del siglo XIX se ha identificado que la higiene de las manos es muy importante para reducir la posibilidad de adquirir enfermedades infecciosas. Estudios señalan que las manos son el punto más importante de entrada de microbios al cuerpo humano, y que la higiene es crucial para controlar gérmenes patógenos (Joseph, Baah, Jahanfar, & Dubey, 2015). Se recomienda secarse las manos después de lavárselas, ya que las manos húmedas pueden transmitir mayor cantidad de gérmenes (Joseph et al., 2015). De manera general, existen varias formas para el secado correcto de las manos, entre ellas: secadores eléctricos, toallas de papel, toallas de tela, toallas de algodón, etc. Las implicaciones ambientales de uno u otro método de secado de manos han sido objeto de interés de la comunidad científica, por ello, se han desarrollado estudios al respecto (Montalbo, Gregory, & Kirchain, 2011).

Uno de los métodos más utilizados para determinar el impacto ambiental de diversos productos es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta herramienta sirve para identificar los impactos primarios tales como: emisiones, efluentes líquidos, generación de residuos, consumo de energía, etc., asociados al ciclo de vida de un producto, que incluye las fases de extracción de recursos, producción de materiales, montaje, uso, reciclaje, transporte y disposición final (Dettling & Margni, 2009). Por sus características, la información generada por un ACV sirve para optimizar, en términos ambientales, un producto en cualquier etapa de su ciclo de vida. Asimismo, un estudio de ACV se puede utilizar para comparar productos e identificar cuál es mejor. Este trabajo de investigación se basa precisamente en identificar qué producto es mejor en términos ambientales: ¿secadores eléctricos o toallas de papel? en torno al consumo de energía y sus correspondientes emisiones de CO₂, durante todo su ciclo de vida.

Antecedentes

Determinar cuál es el verdadero impacto que ciertos productos provocan en el medio ambiente es de crucial importancia en la actualidad. Dado que vivimos en una sociedad orientada al desarrollo y al consumo, se requiere analizar diversas alternativas para promover la sustentabilidad, es decir, satisfacer nuestras propias necesidades sin comprometer la capacidad de generaciones futuras de satisfacer las suyas. La Universidad San Francisco de Quito (USFQ) a través de la Oficina de Innovación y Sustentabilidad (OIS) busca desarrollar programas que promuevan alternativas responsables con el medio ambiente.

En diciembre de 2013, se elaboró el Primer Reporte de Sustentabilidad de la USFQ donde se calculó la huella de carbono de la institución teniendo en cuenta las emisiones másicas totales de CO₂ generadas por: consumo energético, consumo hídrico, consumo de combustibles, generación de residuos sólidos urbanos, y transporte; de la población estudiantil, docente y administrativa de la USFQ en 2012 (Salazar, Dalgo, Velasco, & Ochoa, 2015). En base a este estudio, la USFQ fue la primera universidad sudamericana en formar parte del proyecto piloto internacional STARS (Sustainability Tracking, Assesment & Rating System); obteniendo el reconocimiento de “STARS REPORTER” por parte de la AASHE (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education) (Universidad San Francisco de Quito, 2014).

En 2015 se actualiza la huella de carbono de la USFQ y el método utilizado considera tres alcances. El alcance 1 aborda las emisiones de CO₂ directas que se dan dentro de la institución, relacionadas a consumo de diésel, GLP, gasolina y CH₄ emitido de desechos. A su vez, el alcance 2, define las emisiones de CO₂ indirectas asociadas a la energía comprada y consumida. Por último, el alcance 3 representa otras emisiones indirectas relacionadas a transporte terrestre y aéreo de la población de la USFQ, CO₂ emitido de residuos sólidos urbanos, y emisión de CO₂ debido al consumo, generación y tratamiento de aguas residuales

(Salazar et al., 2015). El estudio da como resultado una huella de carbono de 6225.41 t CO₂ emitidas por la institución en 2015 relacionadas a los siguientes rubros: transporte terrestre (68%), generación de energía (17.1%), transporte aéreo (8.6%), tratamiento de residuos sólidos urbanos (4.2%), combustión de combustibles in-situ (1.5%), y tratamiento de agua residual (0.6%) (Salazar et al., 2015). Se concluye que cada miembro estudiantil y cada miembro docente de la USFQ contribuyó con una generación de 0.68 y 0.84 t CO₂ en 2015, respectivamente (Salazar et al., 2015).

Un estudio realizado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE), ubicada en Quito-Ecuador, utiliza un método para el cálculo de huella de carbono en 2012 similar al empleado en la USFQ en 2015. De igual manera, este método considera tres alcances. El alcance 1 aborda las emisiones de CO₂ directas que se dan dentro de la institución, relacionadas a consumo de diésel, GLP y transporte con vehículos propios. El alcance 2, define las emisiones de CO₂ indirectas asociadas a la energía comprada y consumida. Por último, el alcance 3 representa otras emisiones indirectas relacionadas a transporte aéreo y consumo de papel. El estudio reporta una huella de carbono de 142.4 t CO₂ emitidas por la facultad en 2012 relacionadas a los siguientes rubros: generación de energía (88.8%), consumo de papel (2.3%), combustión de combustibles in-situ (1.9%), transporte aéreo (0.94%) y transporte por vehículos propios (0.13%) (Viteri, 2013). Se concluye que cada miembro estudiantil contribuyó con una generación de 0.06 t CO₂ en 2012 (Viteri, 2013).

De acuerdo a los resultados de los dos estudios mencionados, se tiene que la emisión de CO₂ por estudiante en la USFQ es 11.3 veces mayor a la emisión de CO₂ por estudiante en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UTE. Sin embargo, es importante recalcar que a pesar de que el método de cálculo de la huella de carbono en las dos instituciones es similar, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UTE no se considera transporte terrestre de

estudiantes o personal docente y administrativo. A pesar de ello, aún sin considerar el rubro de transporte terrestre, la emisión de CO₂ por estudiante en la USFQ en 2015 es de 0.22 t CO₂ (Salazar et al., 2015), resultado que es 3.7 veces mayor a la emisión de CO₂ por estudiante en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UTE en 2012. Por ende, es posible realizar algunos cambios dentro de la comunidad de la USFQ en busca de reducir su huella de carbono. La OIS, entre otras actividades, busca cuantificar y disminuir la huella de carbono de la USFQ por lo que ha implementado el proyecto “Auto Compartido”, que es una plataforma virtual que permite que los miembros de la comunidad compartan su auto y optimicen el transporte (Universidad San Francisco de Quito, 2014).

Dentro de la comunidad universitaria, existe una discusión importante entre dos alternativas para el secado de manos: ¿toallas de papel o secadores eléctricos? Esto se debe a que la USFQ posee dentro de sus instalaciones las dos opciones. De acuerdo a una entrevista realizada a los estudiantes de la USFQ, la mayoría prefiere utilizar toallas de papel para el secado de sus manos ya que es la alternativa más rápida para continuar con sus obligaciones académicas sin perder mucho tiempo, de la misma manera, esto sucede en el mercado global, ya que en 2014 las toallas de papel dominaban el mercado de secado de manos (Joseph et al., 2015), sin embargo, ¿es esta la mejor alternativa en términos ambientales?

Este trabajo de investigación busca determinar cuál alternativa es más conveniente, específicamente en cuanto a consumo de energía y emisiones de CO₂, para optimizar el método de secado de manos en la USFQ y así reducir su huella de carbono. La institución aspira a posicionarse como una universidad modelo en temas de innovación y sustentabilidad tanto en Ecuador como en América Latina.

Método

Se emplea el enfoque de ACV para estimar el consumo energético y las emisiones de CO₂ de toallas de papel y secadores eléctricos. Un ACV típicamente contiene cuatro fases:

definición del problema y establecimiento de objetivos, inventario, evaluación de impactos y optimización. En la primera fase se definen la unidad funcional, objetivo, hipótesis, simplificaciones, límites del sistema y marco de aplicación. Por su parte, la fase de inventario consiste en un balance de materia y energía durante todo el ciclo de vida del producto, que incluye las etapas de extracción de materias primas, producción, montaje, uso, reciclaje, transporte y disposición final. Por último, la fase de evaluación de impactos consiste en la interpretación del inventario y la fase de optimización propone la planificación de los cambios necesarios para mejorar el comportamiento ambiental (Blanca, 2003).

Definición del problema y establecimiento de objetivos

Objetivo

Estimar el consumo energético y las emisiones de CO₂ producidas durante todo el ciclo de vida de secadores eléctricos y toallas de papel, mediante el método de Análisis de Ciclo de Vida, para determinar cuál opción implica menos consumo de energía y emisiones de CO₂.

Unidad funcional

La unidad funcional hace referencia a la base de cálculo sobre la cual se realizan los balances de materia y energía. En este caso, la unidad funcional corresponde a tres años académicos en la USFQ debido al tiempo de vida útil de un secador eléctrico en la institución. Los flujos correspondientes se establecen en torno a la cantidad necesaria de secadores eléctricos o toallas de papel en los tres años académicos.

Hipótesis y simplificaciones

Gustafson et al. (2000), realizaron un estudio en la Clínica Mayo, localizada en Rochester, Minnesota; donde se probaron cuatro métodos de secado de manos y su eficiencia en cuanto a eliminación de bacterias. Tales métodos incluían: toallas de algodón, toallas de papel, secador de manos convencional y evaporación espontánea. Los resultados del estudio

mostraron que no hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la cantidad de bacterias eliminadas utilizando cualquier método. En base a los resultados del estudio mencionado, no se toma en cuenta la eficiencia de eliminación de bacterias del uso de toallas de papel o secadores eléctricos en este trabajo de investigación, ya que solo se necesita una técnica adecuada de lavado que incluya evitar la humedad posterior, para promover la higiene.

En cuanto a transporte, se asume el uso de un mismo tipo de vehículo entre cada etapa del ciclo de vida. De la misma manera, si los materiales o productos son importados de otros países, se asume el uso de un mismo tipo de aeronave, buque y tráiler para transporte aéreo, marítimo y terrestre respectivamente.

Se prioriza el uso de información local para la obtención de datos en las diferentes etapas del ciclo de vida de secadores y toallas de papel, sin embargo, cuando no es posible conseguir información local, se utilizan diferentes fuentes bibliográficas.

Se calcula el factor de emisión eléctrico, que corresponde a la cantidad de CO₂ que se emite a la atmósfera por unidad de electricidad generada, en Ecuador para 2015 ya que es el año más reciente del cual se tiene información mediante boletines estadísticos del sector eléctrico proporcionados por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL). Por su parte, el factor de emisión eléctrico de países exportadores de materias primas o productos ya elaborados se obtiene por medio de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) para 2014 que es el año más reciente del cual se tiene información.

Por último, se establece como hipótesis que los secadores eléctricos consumen menos energía y emiten menos CO₂ que las toallas de papel durante todo su ciclo de vida.

Límites del sistema y marco de aplicación

El proyecto de investigación será desarrollado en la USFQ teniendo en consideración que un ACV debe realizarse en el entorno para el cual ha sido concebido y no es de carácter universal (Blanca, 2003). Por ello, la interpretación del inventario, optimización y conclusiones son aplicables únicamente en este entorno.

La estimación del consumo de energía y emisiones de CO₂ se realiza en todas las fases del ciclo de vida del producto: extracción de recursos y producción de materiales, montaje, uso, reciclaje, disposición final y transporte. Este último componente se considera entre cada etapa. En la Figura 1 se ilustran los límites del sistema y cada etapa del ciclo de vida.

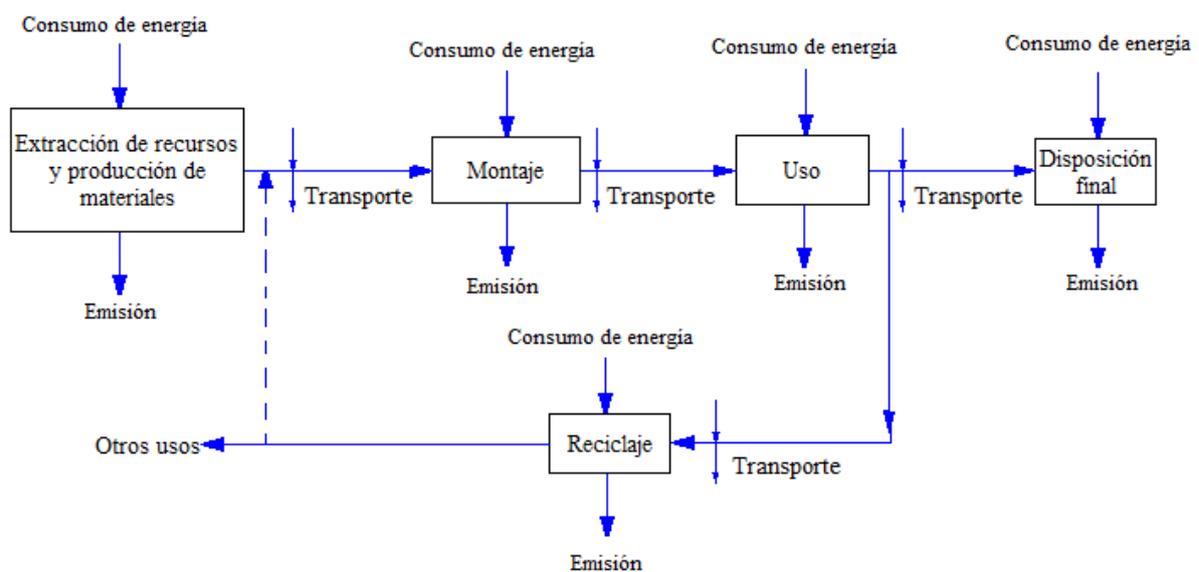


Figura 1. Límites del sistema y etapas del ciclo de vida asociadas a secadores eléctricos y toallas de papel.

Inventario

Ciclo de vida de toallas de papel

Extracción de recursos y producción de materiales.

En un año académico en la USFQ se necesitan varios recursos para cubrir la demanda de toallas de papel. Además de las toallas en sí, los siguientes materiales son indispensables:

tubo de cartón (para dar firmeza al rollo de papel), cartón para empacar, dispensador, tacho de basura y bolsa de basura. Las cantidades de estos productos utilizadas en un año académico en la USFQ se detallan a continuación.

De acuerdo a Hidalgo (comunicación personal, 10 de marzo de 2017), Supervisor de Mantenimiento y Limpieza en la USFQ, Planta Física se encarga de abastecer de todos los recursos necesarios a 40 baños de uso estudiantil, que son aquellos que cuentan con dispensadores de toallas de papel, ubicados en los siguientes edificios:

- Eugenio Espejo
- Biblioteca
- Galileo
- Salón Azul
- Da Vinci (2 pisos)
- Maxwell
- Casa Blanca
- Aristóteles
- Coliseo
- Obelisco
- Sócrates
- Miguel de Santiago
- Deportes
- Oficinas 103
- Judicatura
- MBA (2 pisos)
- Oficinas Jurídicas
- Hospital de los Valles, Torre 2

La cantidad de dispensadores y tachos de basura utilizados en un año académico dependen del número de baños. De acuerdo a Simbaña (comunicación personal, 10 de marzo de 2017), jefe de Bodega en la USFQ, ambos productos tienen un tiempo de vida útil de un año debido al uso constante. Por ende, para un año académico se emplean 40 dispensadores y 40 tachos de basura.

La cantidad de rollos de toallas de papel y bolsas de basura utilizadas específicamente en baños, en un año académico, se obtuvieron de datos proporcionados en Planta Física, sección Bodega. De acuerdo a Simbaña (comunicación personal, 10 de marzo de 2017), el consumo de estos productos en cada mes sigue el patrón detallado en la Tabla 1. Los meses de mayor consumo son febrero, marzo, abril, septiembre, octubre y noviembre, dado que la afluencia de estudiantes al campus es mayor en estos meses.

Tabla 1

Cantidad de rollos de toallas de papel y bolsas de basura utilizados en cada mes en un año académico en la USFQ

Mes	Cantidad	
	Rollos de toallas de papel	Bolsas de basura
Enero	140	150
Febrero	280	300
Marzo	280	300
Abril	280	300
Mayo	140	150
Junio	200	200
Julio	200	200
Agosto	140	150
Septiembre	280	300
Octubre	280	300
Noviembre	280	300
Diciembre	140	150
Total	2640	2800

El cartón para empaquetar se utiliza únicamente para dispensadores y rollos de toallas de papel. De acuerdo a fichas técnicas para dispensadores y rollos de toallas de papel, cada dispensador tiene su propio empaque (Kimberly Clark Professional, 2010a), mientras que 6

rollos de toallas de papel comparten un empaque (Kimberly Clark Professional, 2010b). Por lo tanto, se necesitan 40 cartones para empaque de dispensadores y 440 cartones para empaque de rollos en un año académico en la USFQ. Las cantidades de cada material mencionado se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

Descripción de producto y sus cantidades en un año académico en la USFQ

Producto	Cantidad de producto por año académico
Rollo de toallas de papel	2640
Tubo de cartón	2640
Dispensador de toallas de papel	40
Bolsa de basura	2800
Tacho de basura	40
Cartón de empaque de rollos	440
Cartón de empaque de dispensador	40

En la producción de cada material listado en la Tabla 2, se consume una cierta cantidad de energía y se emite una cierta cantidad de CO₂ que a continuación se detalla.

La USFQ obtiene las toallas de papel y dispensadores de Megacavedi, una empresa ecuatoriana, ubicada en Quito, encargada de la venta y distribución de productos de diversas áreas (Megacavedi, 2017). Megacavedi a su vez obtiene los artículos solicitados por la USFQ, de la empresa Kimberly-Clark Professional (KCP), una multinacional líder en el mercado de limpieza industrial e higiene, cuya sede en Ecuador se encuentra en Guayaquil (Kimberly Clark Professional, 2015). Por otro lado, las bolsas de basura se obtienen de Flexiplast, una empresa ecuatoriana, ubicada en Quito, dedicada a la producción de plásticos de diferentes líneas (Flexiplast, 2015), y los tachos de basura de Plásticos Industriales C.A., empresa más conocida como PICA, encargada también de la producción de plásticos, ubicada en Guayaquil (PICA, 2017).

KCP en Ecuador fabrica los rollos de toallas de papel, el tubo de cartón que da firmeza al rollo y el cartón para el empaqueo de rollos. Sin embargo, la pulpa necesaria para fabricar todos estos materiales no es elaborada por la empresa, es importada. De acuerdo a los reportes de importaciones proporcionados por el Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE) (2015), se tiene que KCP importa pasta de papel, guata de celulosa o napa de fibras de celulosa de Colombia, Perú, Estados Unidos, Brasil, Argentina y China. En base al análisis de estos reportes, en la Tabla 3 se presenta el porcentaje de la totalidad de importaciones de pulpa correspondiente a cada país.

Tabla 3

Porcentaje de importaciones de pasta de papel, guata de celulosa o napa de fibras de celulosa realizadas por Kimberly-Clark Professional en Ecuador a Colombia, Perú, Estados Unidos, Brasil, Argentina y China en 2015

De pasta de papel, guata de celulosa o napa de fibras de celulosa	Porcentaje
Colombia	67.70
Perú	31.42
Estados Unidos	0.45
Brasil	0.21
Argentina	0.16
China	0.06
Total	100.00

Nota. Adaptado de SENAE, 2015.

De acuerdo a la Tabla 3 se tiene que la mayoría de importaciones de pulpa provienen de Colombia y Perú, por lo que para esta investigación se utilizan datos de estos dos países únicamente. Por otro lado, en base a un análisis exhaustivo y dada la poca información disponible acerca del origen de los dispensadores de toallas de papel, marca Kimberly Clark, se estudian varios artículos científicos que afirman que los dispensadores de este tipo son fabricados en Estados Unidos, por lo que se asume que la totalidad de esta importación proviene de dicho país (Montalbo et al., 2011). Los detalles acerca del transporte de la pulpa y los dispensadores se analizan posteriormente.

Una vez descritos la cantidad de materiales necesarios en un año académico en la USFQ (ver Tabla 2) y dónde provienen, es momento de cuantificar la energía necesaria para su producción para posteriormente analizar la emisión de CO₂.

Según datos de consumo de energía provenientes de los documentos de referencia europeos para las mejores tecnologías disponibles, se tiene que para la producción de toallas de papel y para la producción de cartón (sin considerar sus pulpas) se consume 0.58 kWh kg⁻¹ y 0.48 kWh kg⁻¹ respectivamente (Suhr et al., 2015). Por otro lado, para fabricar únicamente las pulpas para toallas de papel y cartón se consume 0.69 kWh kg⁻¹ y 0.2 kWh kg⁻¹ respectivamente (Suhr et al., 2015).

Por su parte, los dispensadores de toallas de papel son fabricados, casi en su totalidad, de acrilonitrilo butadieno estireno, más conocido como plástico ABS, un tipo de plástico fuerte, resistente y fácil de moldear. La energía empleada únicamente para la fabricación de pellets de plástico ABS es de 26.48 kWh kg⁻¹ (Plastics Europe, 2005). Una vez fabricados los pellets, la energía utilizada para la extrusión o moldeo de este tipo de plástico es de 5.47 kWh kg⁻¹ (GRANTA DESIGN, 2017).

Por último, tachos de basura y bolsas de basura, son fabricados en Ecuador, a partir de material reciclado y no de material virgen, ya que Ecuador no tiene desarrollada la industria petroquímica y el 100% de la materia prima utilizada para la fabricación plásticos proviene del exterior (Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, 2015). En otras palabras, Ecuador exporta petróleo, importa materiales elaborados y en base al reciclaje de estos fabrica nuevos productos. Por ende, para la producción de pellets de polietileno reciclado, de alta densidad (HDPE) para fabricar tachos de basura y de baja densidad (LDPE) para fabricar bolsas de basura, la energía que se consume es de 1.39 kWh kg⁻¹ (Vlachopoulos, 2009); y para la extrusión es de 0.30 kWh kg⁻¹ (Thiriez & Gutowski, 2006). Los datos de consumo de energía descritos con anterioridad se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4

Datos de consumo de energía para los diferentes materiales implicados en el ciclo de vida de toallas de papel

Producto	Energía (kWh kg ⁻¹)	Fuente
Pulpa para toalla de papel	0.69	(Suhr et al., 2015)
Pulpa para cartón	0.20	(Suhr et al., 2015)
Pellets de ABS	26.48	(Plastics Europe, 2005)
Pellets de polietileno	1.39	(Vlachopoulos, 2009)
Toalla de papel	0.58	(Suhr et al., 2015)
Cartón	0.48	(Suhr et al., 2015)
Dispensador	5.47	(GRANTA DESIGN, 2017)
Bolsa de basura	0.30	(Vlachopoulos, 2009)
Tacho de basura	0.30	(Vlachopoulos, 2009)

Para el cálculo de la totalidad de energía empleada en la fase de extracción de recursos y producción de materiales, es necesario conocer el peso de cada uno de los productos implicados en el ciclo de vida de toallas de papel.

El rollo de papel utilizado en la USFQ tiene 304.8 m de largo, 20.3 cm de ancho, y posee un gramaje de 29 g m⁻² (KCP, 2010b). En base a estos datos, se tiene que el rollo pesa 1.794 kg. Por otro lado, el peso del cartón de empaque de los rollos es 0.965 kg y el peso del tubo de cartón que da soporte al rollo que es de 0.071 kg (KCP, 2010b).

Asimismo, se tiene que el dispensador pesa 2.60 kg y su empaque 0.30 kg. Estas características corresponden a un dispensador estándar, cuyo diseño se ilustra en la Figura 2, utilizado en la mayoría de los baños de la USFQ, con capacidad para rollos de 304.8 m (KCP, 2010a).



Figura 2. Modelo de dispensador estándar utilizado en la mayoría de baños de la USFQ.

Por su parte, las bolsas utilizadas en los baños de la USFQ provienen de la empresa Flexiplast y son de tamaño industrial, es decir, de 74 cm de ancho y 91 cm de largo, con una resistencia máxima de 30 kg. El peso de cada bolsa es de 0.030 kg (Flexiplast, 2015). Los tachos de basura provenientes de PICA, tienen un modelo estándar, utilizado en la mayoría de baños de la USFQ, que se ilustra en la Figura 3. Estos tachos pesan 3.70 kg (PICA, 2017).



Figura 3. Modelo de tacho de basura estándar utilizado en la mayoría de los baños de la USFQ.

Por último, el peso de las pulpas para rollos de toallas de papel, tubo de cartón y cartón para empaquetar se calcula en base a una eficiencia de 93% de la pulpa para producir dichos materiales (Escuela de Ingenierías Industriales, 2013). En la Tabla 5 se listan todos los pesos de cada material para el posterior cálculo de la energía total empleada en esta fase.

Tabla 5

Peso de cada producto implicado en el ciclo de vida de toallas de papel

Producto	Peso (kg)	Fuente
Pulpa para rollos de toallas de papel	1.929	(EII, 2013)
Rollo de toallas de papel	1.794	(KCP, 2010b)
Pulpa para tubo de cartón	0.076	(EII, 2013)
Tubo de cartón	0.071	(KCP, 2010b)
Dispensador de toallas de papel	2.600	(KCP, 2010a)
Bolsa de basura	0.030	(Flexiplast, 2015)
Tacho de basura	3.700	(PICA, 2017)
Pulpa para cartón de empaque de rollos	1.038	(EII, 2013)
Cartón de empaque de rollos	0.965	(KCP, 2010b)
Pulpa para cartón de empaque de dispensador	0.323	(EII, 2013)
Cartón de empaque de dispensador	0.300	(KCP, 2010a)

Para calcular la emisión de CO₂ en la fabricación de cada uno de los materiales implicados en el ciclo de vida de toallas de papel, se necesita conocer el factor de emisión eléctrico de cada país productor. En este caso, para Estados Unidos, Colombia y Perú en 2014, año más reciente del cual se tiene información, se tienen factores de emisión eléctricos correspondientes a: 0.486 kg CO₂ kWh⁻¹, 0.186 kg CO₂ kWh⁻¹ y 0.254 kg CO₂ kWh⁻¹ respectivamente (International Energy Agency, 2016). Asimismo, el factor de emisión eléctrico de Ecuador corresponde a 0.329 kg CO₂ kWh⁻¹ para 2015, que es el año más reciente del que se tiene información (ARCONEL, 2015). Los detalles para el cálculo del factor de emisión eléctrico de Ecuador se definen posteriormente. En la Tabla 6 se describe el lugar de fabricación de cada producto y su respectivo factor de emisión eléctrico.

Tabla 6

País de fabricación de cada producto y factor de emisión eléctrico asociado

Producto o proceso	País de fabricación	Factor de emisión (kg CO ₂ kWh ⁻¹)
Pulpa	Colombia	0.186
	Perú	0.254
Pellets de ABS	Estados Unidos	0.486
Dispensador		
Cartón	Ecuador	0.329
Toalla de papel		
Pellets de polietileno		
Bolsa de basura		
Tacho de basura		

De acuerdo a los datos listados en tablas anteriores, la Tabla 7 resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a toallas de papel en la fase de extracción de recursos y producción de materiales durante tres años académicos en la USFQ.

Tabla 7

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a toallas de papel en la fase de extracción de recursos y producción de materiales durante tres años académicos en la USFQ

Producto	Energía total (kWh)	Emisión total (kg CO ₂)
Toallas de papel	18898.5	4919.2
Tubo de cartón	388.1	113.0
Dispensador de toallas de papel	9970.1	4845.5
Bolsa de basura	425.6	140.0
Tacho de basura	749.9	246.7
Cartón empaque de dispensador	25.0	12.2
Cartón empaque de rollos	885.4	257.7
Total	31342.5	10534.2

Montaje.

Esta etapa del ciclo de vida se entiende como el acoplamiento del dispensador a la pared. Requiere tornillos, tacos de tornillos, taladro y mano de obra. El consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas a esta etapa son insignificantes en comparación a otras etapas, representa menos del 0.001% de la totalidad de consumo de energía y emisiones, por lo que

se considera irrelevante. Lo mismo sucede en el caso del desmontaje del dispensador. Por ende, estas etapas no se toman en cuenta en el análisis.

Uso.

En esta etapa no se consume energía ni se emite CO₂.

Reciclaje.

Se asume que el 95% del cartón, ABS, HDPE y LDPE contenidos en empaques y tubo del rollo, dispensador, tacho de basura y bolsa de basura respectivamente, son reciclables (L. Simbaña, comunicación personal, 10 de marzo de 2017). El 5% restante constituyen residuos que se depositan en un relleno sanitario. Las toallas de papel normalmente son de un solo uso y no son recicladas, por lo que la totalidad se deposita en el relleno sanitario (Suhr et al., 2015).

En cuanto a consumo de energía, en el reciclaje de cartón es de 0.51 kWh kg⁻¹ (Conserve Energy Future, 2009). Asimismo, para reciclar plástico ABS se consume 10.56 kWh kg⁻¹ (GRANTA DESIGN, 2017). Finalmente, para reciclar polietileno, sea de baja o alta densidad, se consume 1.39 kWh kg⁻¹ (Vlachopoulos, 2009). En la Tabla 8 se resumen estos datos.

Tabla 8

Datos de consumo de energía para el reciclaje de cartón, ABS, HDPE y LDPE

Material	Energía en reciclaje (kWh kg ⁻¹)	Fuente
Cartón	0.51	(CEF, 2009)
ABS	10.56	(GRANTA DESIGN, 2017)
HDPE	1.39	(Vlachopoulos, 2009)
LDPE	1.39	(Vlachopoulos, 2009)

Ecuador recicla los materiales listados en la Tabla 8, por lo que para el cálculo de emisiones de CO₂ se utiliza el factor de emisión eléctrico de Ecuador que corresponde a

0.329 kg CO₂ kWh⁻¹ para 2015. En base a estos datos en la Tabla 9 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la fase de reciclaje.

Tabla 9

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a toallas de papel en la fase de reciclaje durante tres años académicos en la USFQ

Reciclaje	Energía (kWh)	Emisión (kg CO ₂)
Cartón	905.1	297.8
ABS	3128.7	1029.3
HDPE	585.8	192.7
LDPE	332.5	109.4
Total	4952.1	1629.2

Disposición final.

Se asume que el 5% del cartón, ABS, HDPE y LDPE; y la totalidad de toallas de papel se depositan en un relleno sanitario. Asimismo, se asume un consumo energético de 0.155 kWh por cada kg de residuo depositado en el relleno (Environmental Protection Agency, 2014). De acuerdo a estos datos en la Tabla 10 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la fase de disposición final.

Tabla 10

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a toallas de papel en la fase de disposición final durante tres años académicos en la USFQ

Relleno sanitario	Energía (kWh)	Emisión (kg CO ₂)
Cartón	14.5	4.8
ABS	2.4	0.8
HDPE	3.4	1.1
LDPE	2.0	0.6
Toallas de papel	2207.4	726.2
Total	2229.7	733.6

Transporte.

En esta sección se analiza el consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas al transporte en la conexión de las diferentes etapas del ciclo de vida. En primera instancia, se

determinan las características del combustible y del tipo de vehículo transportador, posteriormente se analizan las distancias entre cada etapa del ciclo de vida para finalmente llevar a cabo el cálculo de consumo energético y emisiones de CO₂.

Para la movilización de productos y materiales dentro de Ecuador, se asume que se emplean camiones de carga de dos ejes que utilizan diésel, con un consumo de 23 L cada 100 km para una carga máxima de 18 t (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006). En base a estos datos y a la densidad, poder calorífico y factor de emisión del diésel, correspondientes a 845 kg m⁻³ (EPA, 1985), 11.94 kWh kg⁻¹ (Garg, Kazunari, & Pulles, 2006) y 3.19 kg CO₂ kg⁻¹ (Garg et al., 2006) respectivamente, en la Tabla 12 se presentan los factores de consumo de combustible, energía y emisión de CO₂ para transporte terrestre nacional. Para la importación de productos y materiales del extranjero, el transporte se analiza a continuación.

Como se mencionó anteriormente, KCP en Guayaquil importa la pulpa que necesita para elaborar productos, como cartón o toallas de papel, desde Colombia y Perú, en mayor proporción (ver Tabla 3). En base al análisis de los reportes de importaciones del SENA (2015), se elabora la Tabla 11, que indica que la pulpa importada por KCP en Guayaquil viene de Colombia por vía terrestre y de Perú por vía marítima, en un porcentaje de 92.79% y 90.82% respectivamente.

Tabla 11

Porcentaje de transporte marítimo y terrestre de pasta de papel, papel, guata de celulosa o napa de fibras de celulosa procedentes de Colombia y Perú en 2015

País	Transporte (%)	
	Marítimo	Terrestre
Colombia	7.21	92.79
Perú	90.82	9.18

Nota. Adaptado de SENA, 2015.

De acuerdo a los datos de la Tabla 11, se asume que la totalidad de la pulpa importada desde Colombia llega a Guayaquil por vía terrestre, y la totalidad de la pulpa importada desde Perú llega a Guayaquil por vía marítima. Adicionalmente, se asume que la pulpa importada es seca, ya que el transporte de pulpa húmeda, en especial por vía marítima, es altamente susceptible a grandes pérdidas ya que el alto contenido de agua en las mercancías provoca que incluso ligeras fluctuaciones de temperatura causen formación de agua de condensación (Transport Information Service, 2013). De acuerdo a esta última característica, es importante mencionar que, para transporte terrestre o marítimo, el remolque o contenedor en donde se transporta la pulpa seca no necesita tener condiciones especiales como refrigeración o ventilación, sin embargo, es sumamente importante que la mercancía esté correctamente colocada y protegida del agua con toldos o lonas impermeables (Confederation of European Paper Industries, 2010).

Para la movilización de productos y materiales desde Colombia a Ecuador por vía terrestre, se asume que se emplean tráileres de 6 ejes que utilizan diésel, con un consumo de 42 L cada 100 km para una carga máxima de 40 t (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006). En base a estos datos y a la densidad, poder calorífico y factor de emisión del diésel, mencionados con anterioridad, en la Tabla 12 se presentan los factores de consumo de combustible, energía y emisión de CO₂ para transporte terrestre internacional.

Por otro lado, para la movilización de productos y materiales desde Perú a Ecuador por vía marítima, se asume que se emplean buques portacontenedores con una capacidad máxima de 9200 TEU (Asociación Peruana de Agentes Marítimos, 2015). Un TEU representa una unidad de medida equivalente a un contenedor estándar de 20 pies de largo con un peso bruto aproximado de 24 t (Universal Cargo Management, 2016). Los buques portacontenedores utilizan diésel marítimo con un consumo de 65.9 t d⁻¹ a máxima potencia (Jun, Gillenwater, & Barbour, 2001), que para un buque de 9200 TEU implica una velocidad

máxima de 26 nudos (Anasagasti, 2012). Dado que el puerto de Guayaquil tiene una capacidad de recepción de hasta 4500 TEU, se concluye que la carga máxima del buque al llegar a Ecuador es de 108 kt (Cámara Marítima del Ecuador, 2016). En base a estos datos y a la densidad, poder calorífico y factor de emisión del diésel marítimo correspondientes a 843 kg m^{-3} , $12.04 \text{ kWh kg}^{-1}$ y $3.14 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ respectivamente (Jun et al., 2001), en la Tabla 12 se presentan los factores de consumo de combustible, energía y emisión de CO_2 para transporte marítimo internacional.

Por último, en base a un análisis de los reportes de importaciones del SENA (2015), similar al efectuado con las pulpas, se tiene que la mayoría de las importaciones realizadas por KCP en Guayaquil a Estados Unidos, llegan por vía marítima. Se asume que las características técnicas de los buques portacontenedores provenientes de Estados Unidos son las mismas que las de los buques de Perú. A continuación se presentan los factores de consumo de combustible, energía y emisión de CO_2 implicados en la sección de transporte.

Tabla 12

Factores de consumo de combustible, energía y emisión de CO_2 , para transporte terrestre nacional e internacional, y transporte marítimo internacional asociados al ciclo de vida de toallas de papel

Transporte	Nacional	Internacional	
	Terrestre Camión de dos ejes	Terrestre Tráiler de 6 ejes	Marítimo Buque portacontenedores
Tipo de combustible	Diésel	Diésel	Diésel Marino
Consumo de combustible ($\text{m}^3 \text{ km}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) $\times 10^{-8}$	1.28	1.05	0.06
Consumo de energía ($\text{kWh km}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) $\times 10^{-4}$	1.29	1.06	0.06
Emisión de CO_2 ($\text{kgCO}_2 \text{ km}^{-1} \text{ kg}^{-1}$) $\times 10^{-5}$	3.44	2.83	0.17

Consecutivamente, para calcular el consumo de energía y emisiones de CO_2 , asociadas al transporte, es necesario conocer la distancia entre cada etapa del ciclo de vida. Dentro de la etapa de extracción de recursos y producción de materiales se considera el

transporte de pulpas y dispensadores, es decir, el transporte internacional tanto terrestre como marítimo. En las demás etapas se considera el transporte terrestre nacional.

Se asume que el transporte terrestre de pulpa se origina en Bogotá, donde se encuentra la Cámara de la Industria de Pulpa, Papel y Cartón de Colombia, producto de la asociación de 9 empresas colombianas que se encargan de la totalidad de la producción de pulpa del país (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 2014). La distancia de Bogotá a Guayaquil es de 1503.86 km.

Asimismo, se asume que el transporte marítimo de pulpa se origina en el puerto del Callao, ya que es el puerto principal de Perú, con pulpa proveniente de la empresa Papelera Nacional S.A., ubicada en Lima, que lidera la industria papelera de Perú y es emblemática en el sector a nivel latinoamericano (PANASA, 2015). No se toma en cuenta el consumo de energía y emisiones de CO₂ en el trayecto de Lima a Callao ya que es insignificante en comparación al transporte marítimo del Puerto del Callao al Puerto de Guayaquil; por la misma razón, no se toma en cuenta el trayecto del Puerto de Guayaquil a KCP. La distancia de Callao a Guayaquil vía marítima es de 1321.31 km. Por otro lado, se asume que el transporte marítimo de dispensadores se origina en el puerto de Long Beach, ya que según estadísticas del World Shipping Council (2017), éste es el primer puerto de Estados Unidos. La distancia de Long Beach a Guayaquil vía marítima es de 5985.42 km. En la Figura 4 se presenta un mapa con las distintas localizaciones para el transporte de productos.

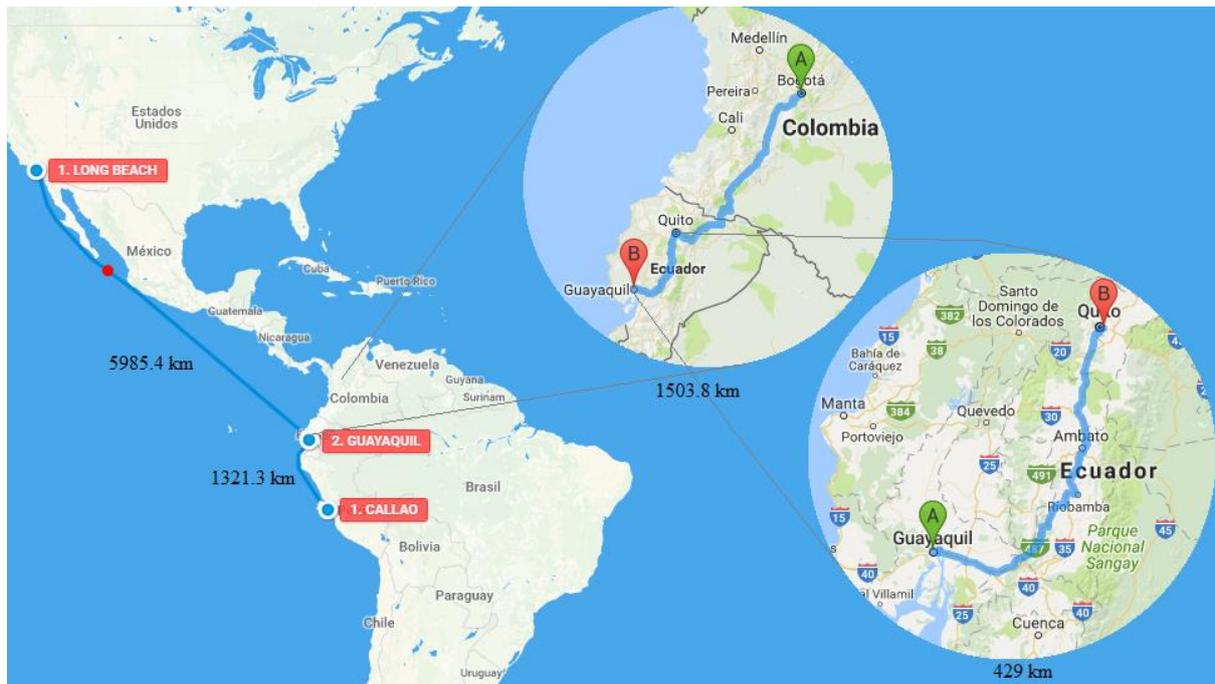


Figura 4. Mapa de las distintas localizaciones para transporte de productos. El mapa general representa el transporte marítimo (Long Beach – Guayaquil, 5985.42 km; Callao – Guayaquil, 1321.31 km). El círculo superior ilustra el transporte terrestre internacional (Bogotá – Guayaquil, 1503.86 km) y el círculo inferior el transporte terrestre nacional más representativo (Guayaquil – USFQ, 429 km).

Finalmente, el transporte desde la etapa de extracción de recursos y producción de materiales hasta el montaje y uso considera las distancias de KCP a Megacavedi; y de Megacavedi, Flexiplast y PICA, a la USFQ. Estas distancias corresponden a: 429 km, 16 km, 21.8 km y 418 km, respectivamente. Asimismo, la distancia entre las fases de montaje y uso a disposición final es de 27.2 km, debido al trayecto desde la USFQ al relleno sanitario en El Inga. Por último, se asume una distancia aproximada de 100 km a las distintas plantas de reciclaje. De acuerdo a estos datos, en la Tabla 13 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la etapa de transporte.

Tabla 13

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a toallas de papel en la fase de transporte durante tres años académicos en la USFQ

Transporte	Energía (kWh)	Emisión (kg CO ₂)
Pulpas y dispensadores	1981.3	528.2
Extracción de recursos y producción de materiales-Montaje/Uso	965.4	257.5
Montaje/Uso-Reciclaje	35.2	9.4
Montaje/Uso-Disposición final	50.4	13.4
Total	3032.2	808.5

Ciclo de vida de secadores eléctricos

Extracción de recursos y producción de materiales.

La USFQ utiliza en su mayoría secadores eléctricos convencionales de aire caliente, modelo HK-1800ES, con un tiempo de vida útil de 3 años aproximadamente (L. Simbaña, comunicación personal, 10 de marzo de 2017). Además, según Hidalgo (comunicación personal, 10 de marzo de 2017), Planta Física se encarga de instalar secadores eléctricos a 40 baños de uso estudiantil, listados con anterioridad. Para el análisis de emisiones de CO₂ y consumo de energía en la etapa de extracción de recursos y producción de materiales se toma en cuenta el tiempo de vida útil del secador en el campus, lugar de fabricación, empaçado y composición principal.

Se asume que la totalidad de secadores eléctricos de la USFQ son convencionales de aire caliente modelo HK-1800ES, (ver Figura 5). Este modelo de secador eléctrico pesa 5.4 kg y está compuesto por un motor de acero de 0.9 kg, una cubierta de aluminio de 4.0 kg y materiales diversos fabricados de distintas materias primas como polietileno, cerámica, nylon, cobre, zinc, entre otros; que conforman los 0.5 kg restantes e incluyen, principalmente, un termostato, un temporizador, un pulsador y diversos componentes electrónicos (Dettling & Margni, 2009). Además, se considera que el material de empaçado del secador es cartón con un peso de 0.3 kg (Fastdry, 2015).



Figura 5. Secador eléctrico convencional de aire caliente, modelo HK-1800ES, marca FastDry, utilizado en la USFQ.

Para la producción de materias primas se toma en cuenta únicamente la fabricación de acero y aluminio ya que son los componentes principales del secador eléctrico convencional; además, el consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas a la fabricación de los componentes restantes son insignificantes en comparación al aluminio y al acero. El consumo de energía asociado a la producción de acero, aluminio y cartón es de 6.31 kWh kg⁻¹ (Rankin, 2012), 43.61 kWh kg⁻¹ (Stacey, 2015), y 0.68 kWh kg⁻¹ (Suhr et al., 2015) respectivamente. Asimismo, una vez obtenida la materia prima, la fabricación de un secador eléctrico convencional tiene un consumo energético de 43.3 kWh (Dettling & Margni, 2009).

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se asume que los secadores eléctricos convencionales son fabricados en China (Fastdry, 2015), lugar común para la fabricación de aparatos tecnológicos (Montalbo et al., 2011). Se considera que el factor de emisión eléctrico de China para 2014, año más reciente del cual se tiene información, corresponde a 0.681 kg CO₂ kWh⁻¹ (IEA, 2016). De acuerdo a estos datos en la Tabla 14 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la etapa de extracción de recursos y producción de materiales.

Tabla 14

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de extracción de recursos y producción de materiales durante tres años académicos en la USFQ

Material o producto	Energía (kWh kg ⁻¹)	Emisión (kg CO ₂)
Aluminio	6977.8	4751.9
Acero	227.0	154.6
Cartón	8.2	5.6
Secador	1732.0	1179.5
Total	8944.9	6091.5

Montaje.

Esta etapa del ciclo de vida se entiende como el acoplamiento del secador a la pared. Al igual que el montaje de dispensadores, requiere tornillos, tacos de tornillos, taladro y mano de obra. El consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas a esta etapa son insignificantes en comparación a otras etapas, representa menos del 0.001% de la totalidad de consumo de energía y emisiones, por lo que se considera irrelevante. Lo mismo sucede en el caso del desmontaje del secador. Por ende, estas etapas no se toman en cuenta en el análisis.

Uso.

En la fase de interpretación del inventario se necesita comparar unidades equivalentes, entre secadores eléctricos y toallas de papel, acordes a la unidad funcional. En base a esta premisa, es necesario determinar el número de secados que equivalen a los 2640 rollos de toallas de papel que se utilizan en año académico en la USFQ (ver Tabla 2). Las fichas técnicas de los rollos de toallas de papel y dispensadores que la USFQ utiliza; detallan que el dispensador está diseñado para hacer un corte de toalla con una medida estándar de 0.27 m, por lo que un rollo contiene aproximadamente 1129 toallas de papel (KCP, 2010a).

En base a la población de la USFQ y los días laborales en 2015 para cada periodo académico, detallados en la Tabla 15, se realiza un promedio ponderado de consumo de toallas de papel por persona-día. Considerando que el 90% de la población de la USFQ

utilizó la cantidad total de toallas de papel consumida en 2015, se concluye que un miembro de esta comunidad emplea aproximadamente 2.5 toallas de papel en cada secado.

Tabla 15

Población estudiantil docente y personal administrativo en 2015 en la USFQ

Periodo	Días	Población
Enero-Mayo	91	8084
Junio-Julio	44	3581
Agosto-Diciembre	92	8938

Nota. Adaptado de Salazar et al., 2015.

El tiempo promedio necesario para secar completamente las manos con un secador convencional típico en la USFQ, de potencia de 1800 W, es de 28 segundos (Fastdry, 2015). De acuerdo a estos datos se calcula la energía total requerida en esta etapa. Por otro lado, dado que el uso se desarrolla en la USFQ, se utiliza el factor de emisión eléctrico de Ecuador con un valor de $0.329 \text{ kg CO}_2 \text{ kWh}^{-1}$, para 2015, para el cálculo de emisiones. En la Tabla 16 se resume el consumo energético total y emisión de CO_2 total asociados a la etapa de uso.

Tabla 16

Consumo de energía y emisión de CO_2 asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de uso durante tres años académicos en la USFQ

	Energía (kWh kg^{-1})	Emisión (kg CO_2)
Uso	50000.1	16449.9

Reciclaje.

Se asume que el 95% del cartón, acero y aluminio contenido en un secador eléctrico convencional son reciclables (L. Simbaña, comunicación personal, 10 de marzo de 2017). El 5% restante constituyen residuos que se depositan en un relleno sanitario. En cuanto a consumo de energía, en el reciclaje de cartón es de 0.51 kWh kg^{-1} (Conserve Energy Future, 2009). Asimismo, para reciclar acero se consume 2.69 kWh kg^{-1} (Rankin, 2012). Finalmente, para el reciclaje de aluminio se consume 2.18 kWh kg^{-1} (Stacey, 2015). Dado que Ecuador

recicla todos estos materiales, para el cálculo de emisiones de CO₂ se utiliza el factor de emisión eléctrico de Ecuador. En base a estos datos, en la Tabla 17 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la fase de reciclaje.

Tabla 17

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de reciclaje durante tres años académicos en la USFQ

Reciclaje	Energía (kWh kg ⁻¹)	Emisión (kg CO ₂)
Aluminio	331.4	109.0
Acero	92.2	30.3
Cartón	5.8	1.9
Total	429.4	141.3

Disposición final.

Se asume que el 5% del cartón, acero y aluminio contenido en un secador eléctrico convencional y la totalidad de materiales extras se depositan en un relleno sanitario. Asimismo, se asume un consumo energético de 0.155 kWh por cada kg de residuo depositado en el relleno (EPA, 2014). De acuerdo a estos datos en la Tabla 18 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la fase de disposición final.

Tabla 18

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de disposición final durante tres años académicos en la USFQ

Relleno sanitario	Energía (kWh kg ⁻¹)	Emisión (kg CO ₂)
Aluminio	1.24	0.41
Acero	0.28	0.09
Cartón	0.09	0.03
Extras	3.11	1.02
Total	4.72	1.55

Transporte.

En esta sección se analiza el consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas al transporte en la conexión de las diferentes etapas del ciclo de vida. Dentro de la etapa de

extracción de recursos y producción de materiales se considera el transporte internacional de secadores eléctricos convencionales desde China, por vía marítima, con buques portacontenedores cuyas características de consumo de combustible, consumo de energía y emisión de CO₂ son las mismas para transporte marítimo previamente consideradas y listadas en la Tabla 12. Se asume que el buque portacontenedores sale del Puerto de Shanghái, ya que es el puerto principal de China (Escuela Superior de Negocios Internacionales, 1995), y llega al Puerto de Guayaquil, trayecto que representa 16 335.59 km.

El transporte desde la etapa de extracción de recursos y producción de materiales hasta el montaje y uso considera la movilización de secadores a la USFQ. De la misma manera, se asume que el transporte terrestre desde el Puerto de Guayaquil a la USFQ se realiza en camiones de carga de 2 ejes cuyas características de consumo combustible, consumo de energía y emisión de CO₂ son las mismas listadas en la Tabla 12. La distancia es de 422 km. Esta distancia considera el trayecto directo del Puerto de Guayaquil a la USFQ debido a la falta de información disponible acerca de la empresa que distribuye los secadores. En la Figura 6 se presenta un mapa con las distintas localizaciones para el transporte de productos.



Figura 6. Mapa de las distintas localizaciones para transporte de productos. El mapa general representa el transporte marítimo (Shanghái – Guayaquil, 16 335.59 km). El círculo ilustra el transporte terrestre nacional más representativo (Guayaquil – USFQ, 429 km).

Por último, la distancia entre las etapas de montaje y disposición final es de 27.2 km, que considera el trayecto desde la USFQ al relleno sanitario en El Inga; y se asume una distancia de 100 km a las distintas plantas de reciclaje. De acuerdo a estos datos, en la Tabla 19 se resume la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la fase de transporte.

Tabla 19

Consumo de energía y emisión de CO₂ asociados a secadores eléctricos convencionales en la fase de transporte durante tres años académicos en la USFQ

Transporte	Energía (kWh kg ⁻¹)	Emisión (kg CO ₂)
Secadores	23.7	6.17
Extracción de recursos y producción de materiales-Montaje/Uso	12.4	3.3
Montaje/Uso-Reciclaje	2.6	0.7
Montaje/Uso-Disposición final	0.1	0.03
Total	38.7	10.2

Factor de emisión eléctrico Ecuador 2015

Durante 2015 en Ecuador se generaron 26.46 TWh de electricidad (ARCONEL, 2015). La energía producida en Ecuador proviene de diferentes fuentes tanto renovables

como no renovables. Entre las fuentes no renovables se encuentra la quema de combustibles fósiles que es responsable de una parte importante de las emisiones de CO₂. Debido a estos hechos, se tiene que por cada unidad de energía consumida se emite al ambiente una cierta cantidad de CO₂, cantidad que representa precisamente el factor de emisión eléctrico. Para el cálculo de este dato, utilizado en secciones anteriores, es indispensable conocer la cantidad y el tipo de combustible utilizado en Ecuador para producir energía. La Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL), proporciona esta información listada en la Tabla 20.

Tabla 20

Consumo de combustibles para generación eléctrica en Ecuador en 2015

Combustible	Unidad	Cantidad
Fuel oil	Mgal	335.75
Diesel	Mgal	212.38
Gas Natural	kpc × 10 ⁶	25.72
Residuo	Mgal	58.77
Crudo	Mgal	75.12
GLP	Mgal	7.29
Bagazo de caña	kt	1504.44

Nota. Adaptado de ARCONEL, 2015.

Para conocer la cantidad de CO₂ emitida por la quema de cada uno de los combustibles listados en la Tabla 20, es necesario conocer su poder calorífico (Garg et al., 2006), contenido de carbono (Garg et al., 2006) y densidad (EPA, 1985); todos estos datos se listan en la Tabla 21. No se considera la emisión de CO₂ proveniente del bagazo de caña porque es una fuente de energía renovable.

Tabla 21

Poder calorífico, contenido de carbono y densidad de combustibles

Combustible	Poder calorífico (TJ Gg ⁻¹)	Contenido de carbono (kg C GJ ⁻¹)	Densidad (kg m ⁻³)
Fuel oil	40.4	21.1	944
Diesel	43.0	20.2	845
Gas Natural	48.0	15.3	0.67
Residuo	40.4	21.1	944
Crudo	42.3	20.0	874
GLP	47.3	17.2	528.6

Con los datos de la tablas 20 y 21 se calcula la emisión de CO₂ total que corresponde a 8.71 Mt CO₂. Dado que la energía total consumida en Ecuador en 2015 tiene un valor de 26.46 TWh, el factor de emisión eléctrico es de 0.329 kg CO₂ kWh⁻¹.

Interpretación del inventario

En la Tabla 22 se resume el consumo energético total y las emisiones de CO₂ totales en el uso de toallas de papel o secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ en cada etapa del ciclo de vida. En la Figura 7 y Figura 8 se ilustra la diferencia entre ambos métodos.

Tabla 22

Consumo total de energía y emisión total de CO₂ en el ciclo de vida de toallas de papel y secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ

Etapa	Toallas de papel		Secadores eléctricos convencionales	
	Energía (MWh)	Emisión (t CO ₂)	Energía (MWh)	Emisión (t CO ₂)
Extracción de recursos y producción de materiales	31.34	10.53	8.94	6.09
Uso	0.00	0.00	50.00	16.45
Reciclaje	4.95	1.63	0.43	0.14
Disposición final	2.23	0.73	0.005	0.002
Transporte	3.03	0.81	0.04	0.01
Total	41.56	13.71	59.42	22.69

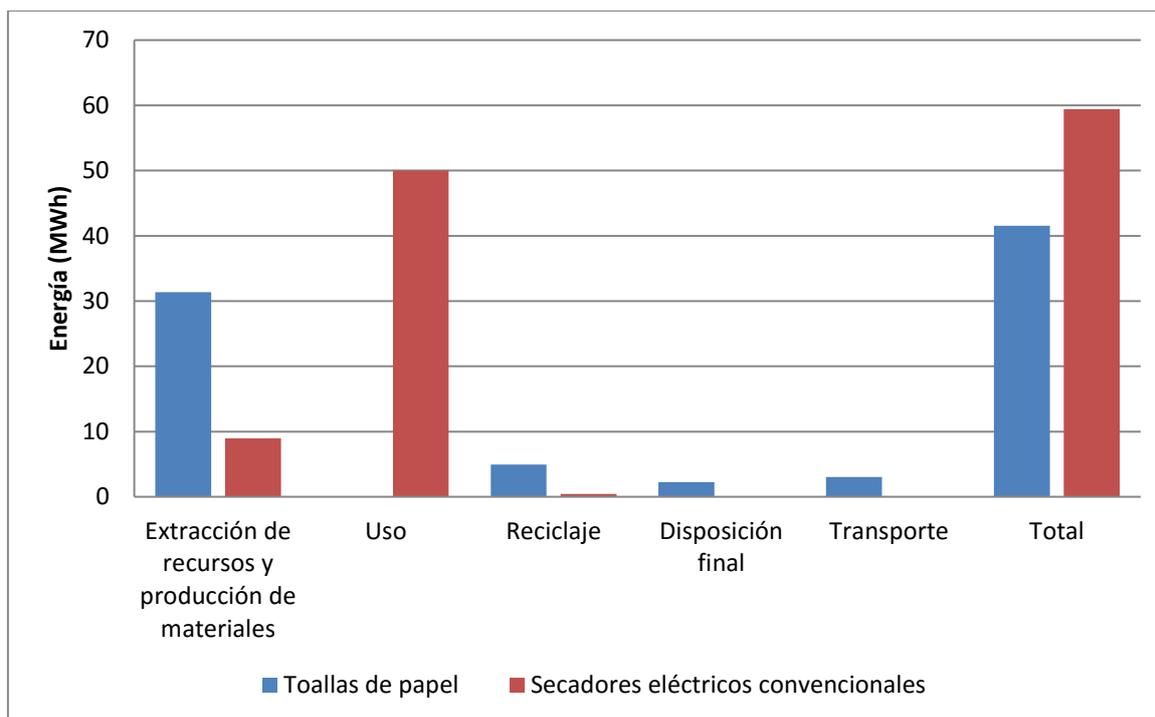


Figura 7. Comparación de consumo de energía (MWh) en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales y toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.

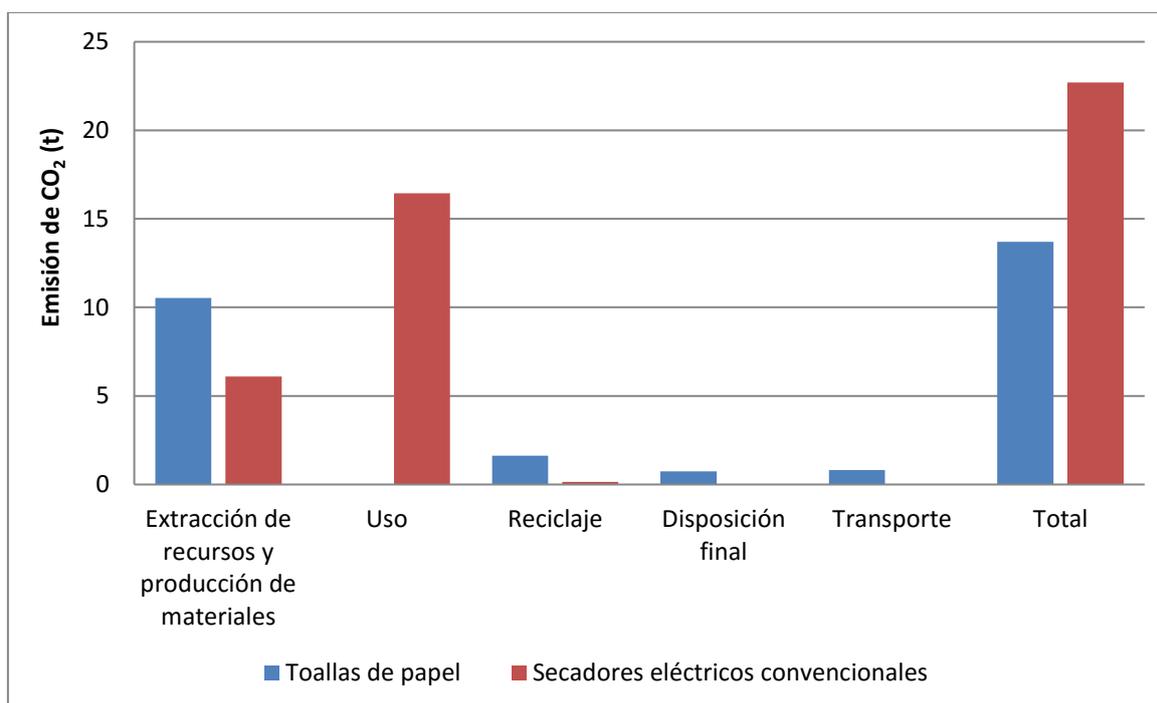


Figura 8. Comparación de emisión de CO₂ (t) en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales y toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.

Toallas de papel

A continuación, en la Figura 9, se presenta un diagrama para el consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.

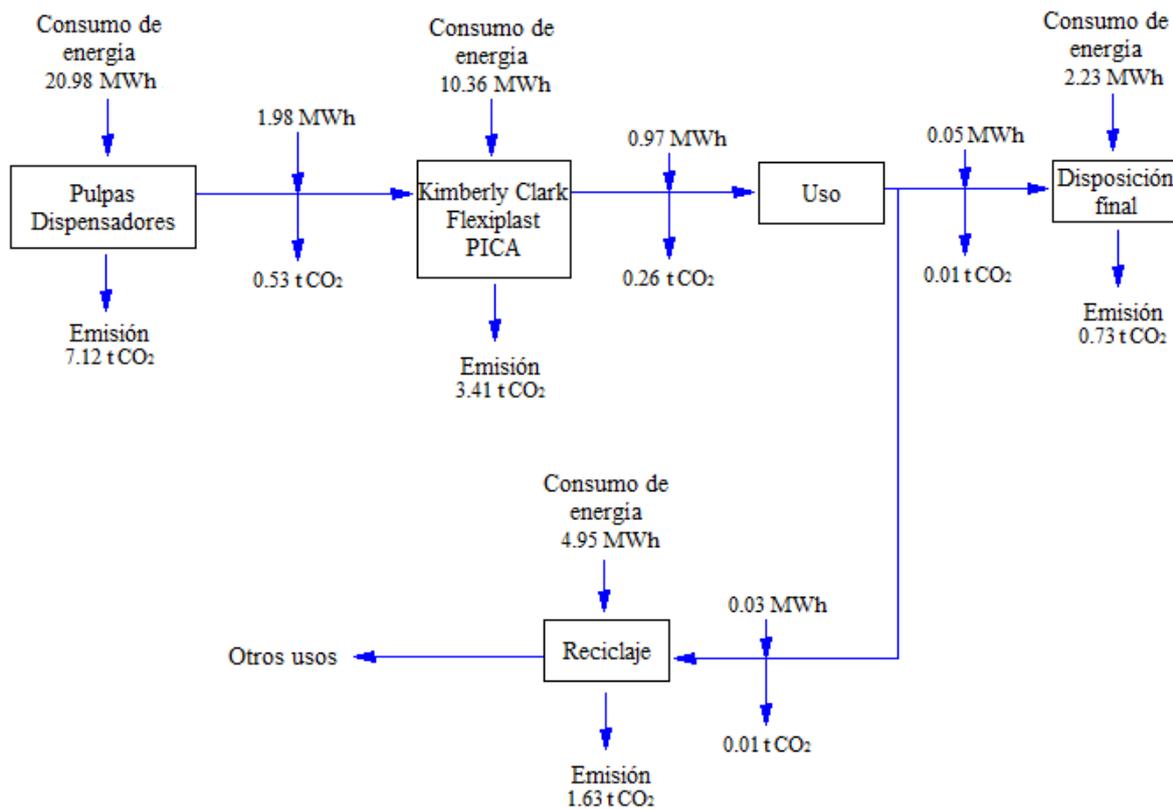


Figura 9. Diagrama de estimación de consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.

En base a los datos de la Tabla 22, en la Figura 10, se presenta un análisis porcentual para determinar la etapa del ciclo de vida de toallas de papel que representa la mayor cantidad de consumo de energía y emisiones de CO₂ en tres años académicos en la USFQ.

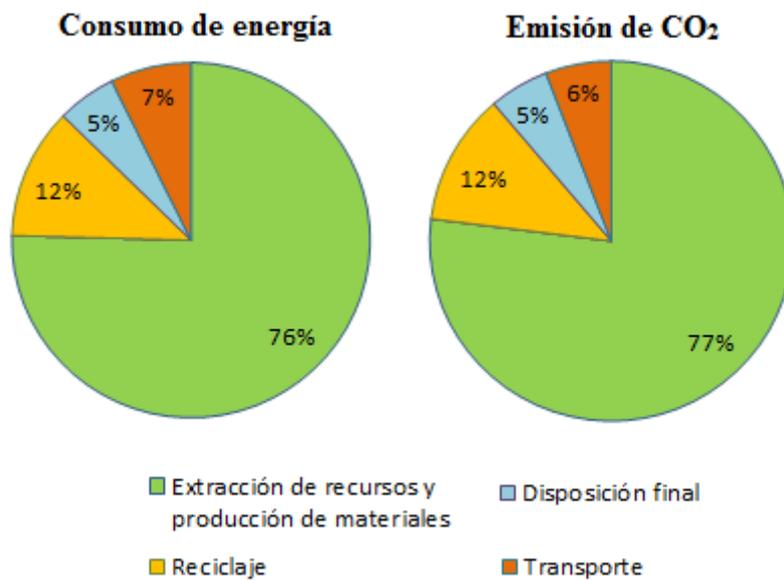


Figura 10. Porcentaje de consumo total de energía y emisión total de CO₂ correspondiente a cada etapa del ciclo de vida de toallas de papel en tres años académicos en la USFQ.

Secadores eléctricos

De la misma manera, En la Figura 11, se presenta un diagrama para el consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ.

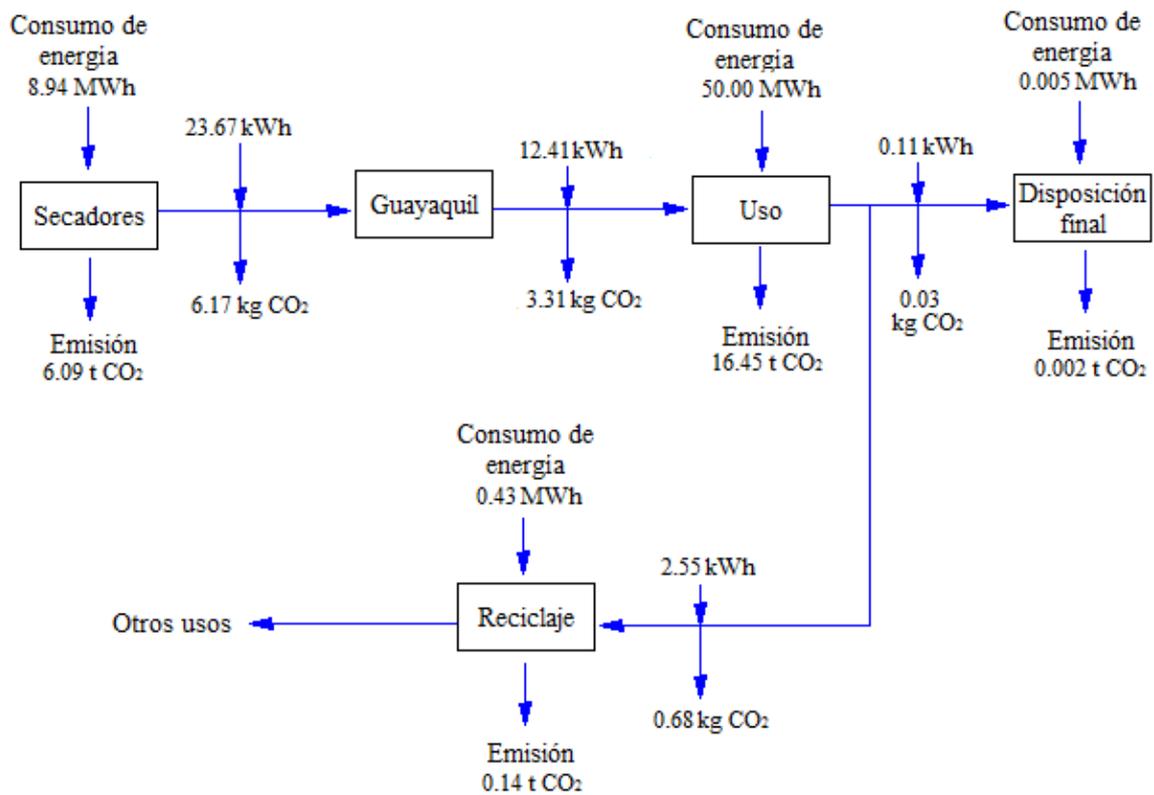


Figura 11. Diagrama de estimación de consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales en un tres años académicos en la USFQ.

En base a los datos de la Tabla 22, en la Figura 12, se presenta un análisis porcentual para determinar la etapa del ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales que representa la mayor cantidad de consumo de energía y emisiones de CO₂.

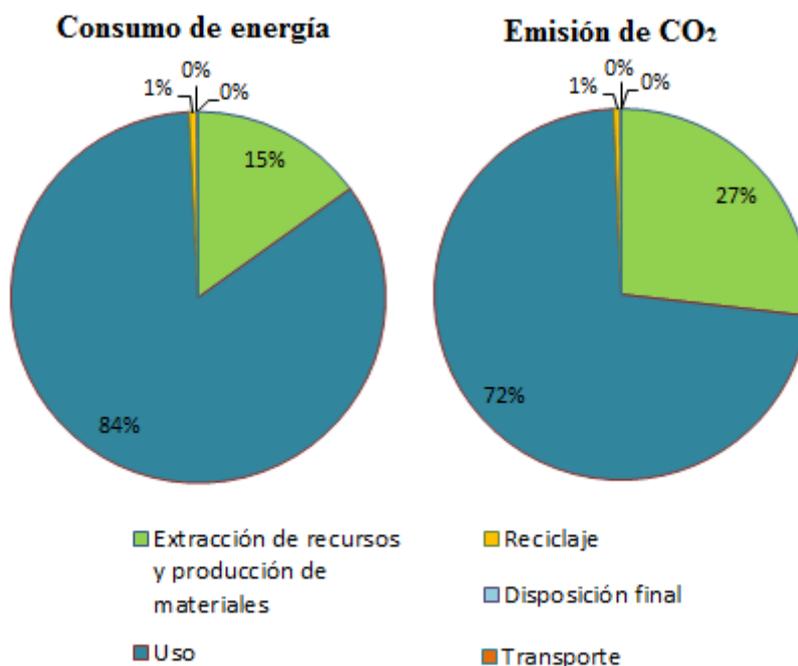


Figura 12. Porcentaje de consumo total de energía y emisión total de CO₂ correspondiente a cada etapa del ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ.

Optimización

Los estudiantes en la USFQ prefieren utilizar toallas de papel en lugar de secadores eléctricos debido al tiempo que emplean en el secado de sus manos; se necesitan 28 segundos con un secador eléctrico convencional mientras que con las toallas de papel es inmediato. Además, ya que varios estudiantes necesitan el secador a la vez, el tiempo requerido es mayor debido a la espera. Para solucionar este problema, existe un tipo de secador eléctrico que requiere un menor tiempo de secado, exactamente 8 segundos, el cual se analiza a continuación.

Un secador eléctrico de alta velocidad provee beneficios significativos en términos ambientales debido a la reducción del consumo de electricidad durante su uso (Dettling & Margni, 2009). Existen dos tipos de secadores de alta velocidad, cuya variación depende de la manera en la que se colocan las manos: dentro del secador o bajo el secador. En este análisis, se considera un secador eléctrico de alta velocidad, con las características del secador marca XLERATOR (ver Figura 13), donde las manos se colocan debajo de él.



Figura 13. Secador eléctrico de alta velocidad marca XLERATOR.

Se asume que el tiempo de vida útil de un secador eléctrico de alta velocidad es el mismo que se consideró para un secador eléctrico convencional en la USFQ, es decir, 3 años. El secador pesa 7.3 kg y está compuesto por un motor de acero de 0.9 kg, una cubierta de acero con un peso aproximado de 5.7 kg, y materiales diversos fabricados de distintas materias primas como polietileno, cerámica, nylon, cobre, zinc, entre otros; que conforman los 0.7 kg restantes e incluyen, principalmente, diversos componentes electrónicos (Dettling & Margni, 2009). Se considera que el material de empaqueo del secador es cartón con un peso de 0.3 kg (Excel Dryer, 2016).

Para la producción de materias primas se toma en cuenta únicamente la fabricación de acero que es el componente principal del secador eléctrico de alta velocidad; además, el consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas a la fabricación de los componentes restantes son insignificantes. El consumo de energía en la producción de acero y cartón es de 6.31 kWh kg⁻¹ (Rankin, 2012), y 0.68 kWh kg⁻¹ (Suhr et al., 2015) respectivamente. Además, al igual que para fabricar un secador eléctrico convencional, el consumo energético para fabricar un secador de alta velocidad es de 43.3 kWh (Dettling & Margni, 2009).

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se asume que los secadores eléctricos de alta velocidad son fabricados en China al igual que los secadores eléctricos convencionales

(Montalbo et al., 2011). Con estos datos se calcula la cantidad de energía total y la emisión de CO₂ total que corresponden a la etapa de extracción de recursos y producción de materiales (ver Tabla 23).

En la etapa de uso se considera el mismo número de secados utilizados para un secador eléctrico convencional en tres años académicos en la USFQ. En base a este número de secados, con un promedio de 8 segundos por secado y con la potencia de un secador de alta velocidad equivalente a 1500 W (Dettling & Margni, 2009); se calcula la energía total requerida en esta etapa. Para calcular las emisiones de CO₂ se utiliza el factor de emisión de Ecuador 2015, dado que el uso se da en la USFQ.

Por último, en las etapas de reciclaje, disposición final y transporte; se realizan las mismas asunciones que se hicieron para el secador eléctrico convencional. En la Tabla 23 se resume el consumo energético total y las emisiones de CO₂ totales en el uso de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ en cada etapa del ciclo de vida.

Tabla 23

Consumo total de energía y emisión total de CO₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ

Etapa	Energía (MWh)	Emisión (t CO ₂)
Extracción de recursos y producción de materiales	3.40	2.32
Uso	11.92	3.92
Reciclaje	0.68	0.22
Disposición final	0.006	0.002
Transporte	0.05	0.01
Total	16.07	6.48

En base a los datos de la Tabla 22 y Tabla 23; en la Figura 14 y Figura 15 se ilustra la diferencia entre toallas de papel, secadores eléctricos convencionales y secadores eléctricos

de alta velocidad en cuanto a consumo de energía y emisiones de CO₂ en tres años académicos en la USFQ durante todo su ciclo de vida.

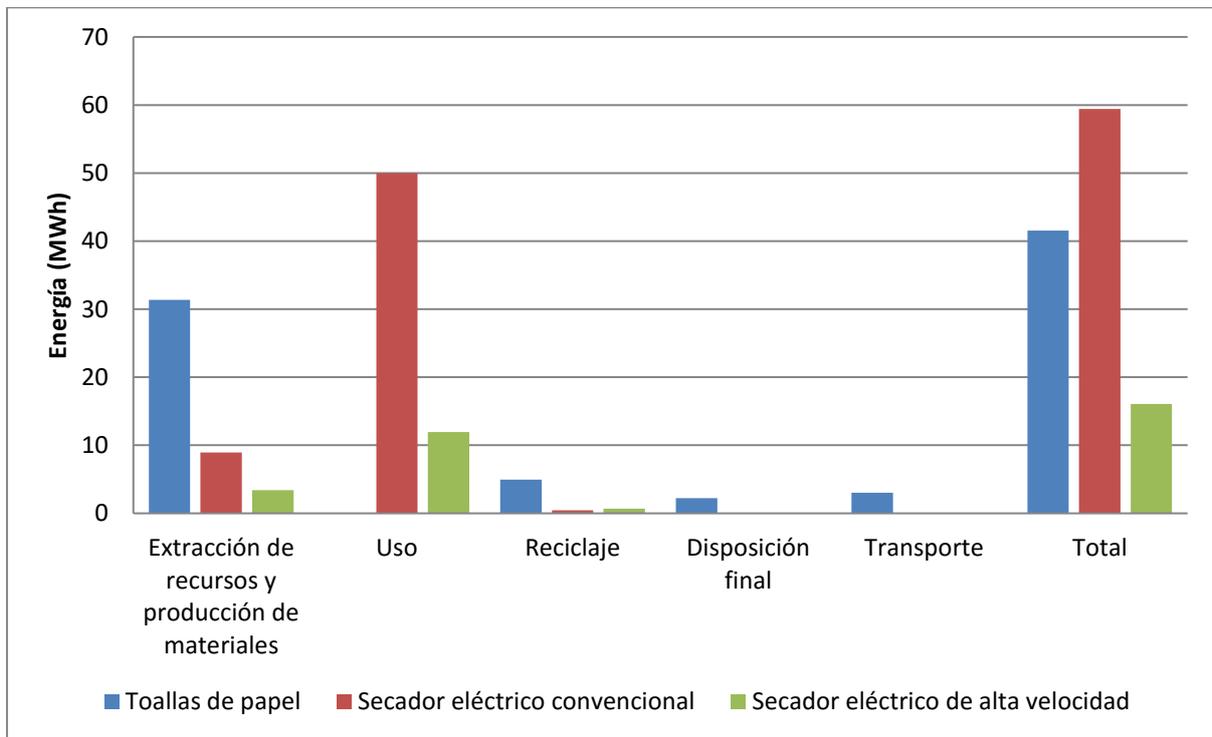


Figura 14. Consumo de energía (MWh) en el ciclo de vida de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales y secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.

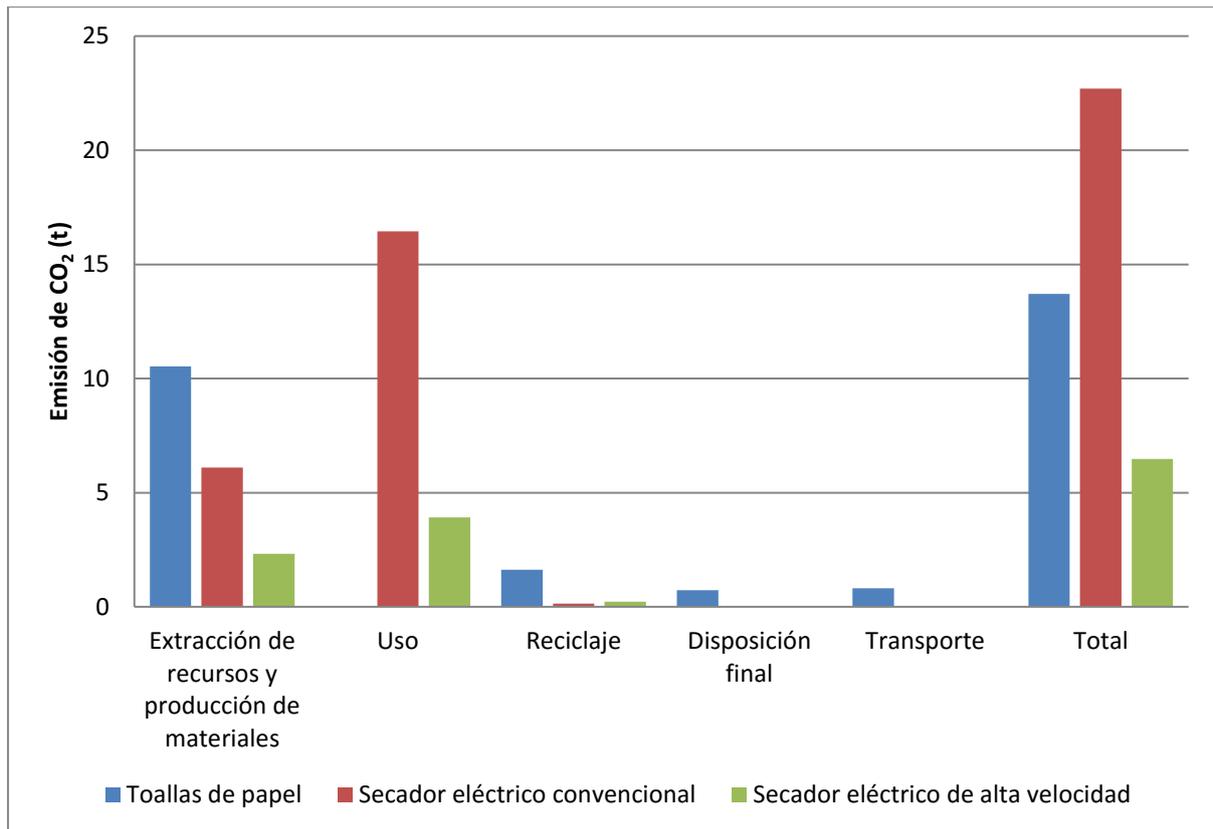


Figura 15. Emisión de CO₂ (t) en el ciclo de vida de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales y secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.

En la Figura 16, se presenta un análisis porcentual para determinar la etapa del ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad que representa la mayor cantidad de consumo de energía y emisiones de CO₂. Finalmente, en la Figura 17 se presenta un diagrama para el consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.

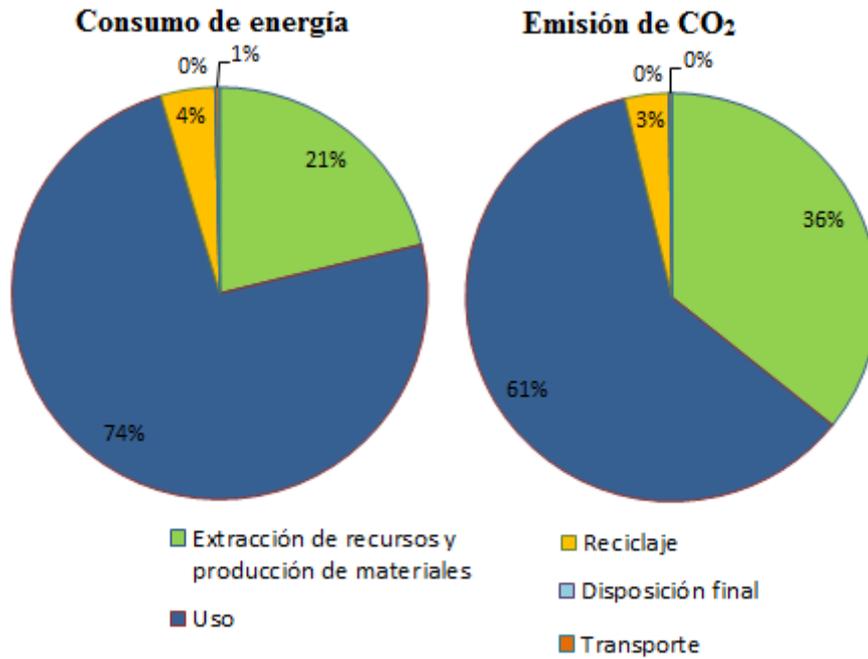


Figura 16. Porcentaje de consumo total de energía y emisión total de CO₂ correspondiente a cada etapa del ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.

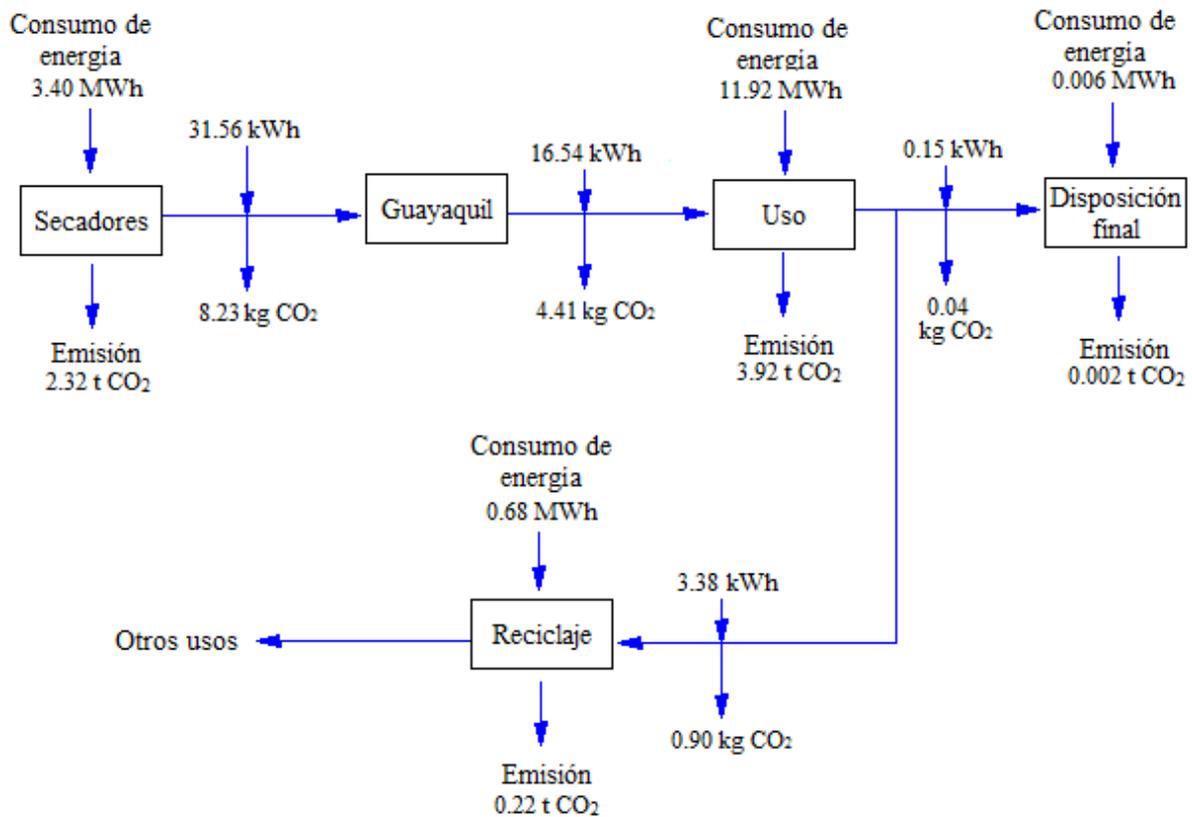


Figura 17. Diagrama de estimación de consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ.

Huella de carbono

La actualización de la huella de carbono de la USFQ para 2015 dio como resultado 6225.41 t CO₂ emitidas por la institución donde cada miembro estudiantil y cada miembro docente contribuyó con una generación de 0.68 y 0.84 t CO₂, respectivamente (Salazar et al., 2015). En el cálculo de la reducción de la huella de carbono, en base a la implementación de otro método de secado de manos, se debe tener en cuenta que este enfoque es diferente al de ACV. Como se mencionó con anterioridad, en el cálculo de la huella de carbono de la USFQ en 2015, se consideraron tres alcances de los cuales el único rubro que coincide con el enfoque de ACV es la emisión de CO₂ asociada a la energía comprada y consumida considerada en el alcance 2. Sin embargo, no es posible conocer el número exacto de estudiantes, personal académico y administrativo que utilizaron secadores eléctricos convencionales como método de secado de manos, por lo que no se puede calcular con precisión una reducción o aumento en la cantidad de energía comprada y consumida en la institución, y por ende un cambio en la huella de carbono. Sin embargo, aún si toda la población de la USFQ en 2015 hubiera utilizado secadores eléctricos convencionales o secadores eléctricos de alta velocidad, la energía total consumida en la etapa de uso del ciclo de vida de estos secadores en un año hubiera sido de 19.81 y 5.83 MWh, respectivamente, lo cual representa menos del 1% de la energía total que la USFQ compró en este año, que equivale a 3106.3 MWh (Salazar et al., 2015).

Debido a esta limitación, se considera otra forma de comparar la huella de carbono de la USFQ en 2015, con los resultados del ACV obtenidos en este estudio. En consecuencia, se calcula la contribución en cuanto a emisiones de CO₂ de cada miembro de la institución en base a la asunción de que todos utilizan cierto método de secado de manos. Por lo tanto, si toda la población de la USFQ en 2015 (8025 estudiantes y 913 docentes y personal administrativo) utilizara únicamente toallas de papel, cada miembro sería responsable de una

emisión de 0.51 kg CO₂. Asimismo, si utilizaran únicamente secadores eléctricos convencionales; o secadores eléctricos de alta velocidad, la contribución de cada miembro correspondería a 0.85 y 0.24 kg CO₂, respectivamente. La huella de carbono de cada miembro estudiantil en la USFQ en 2015 fue de 0.68 t CO₂, por lo que la emisión en el uso de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales o secadores eléctricos de alta eficiencia representaría un 0.08%, 0.12% o 0.04%, respectivamente, de esta huella. Asimismo, la huella de carbono de cada miembro docente y personal administrativo fue de 0.84 t CO₂, por lo que la emisión en el uso de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales o secadores eléctricos de alta eficiencia representaría un 0.06%, 0.10% o 0.03%, respectivamente, de esta huella. En la Tabla 24 se resumen estos resultados.

Tabla 24

Emisión de CO₂ total en el ciclo de vida, emisión per cápita y porcentaje de la huella de carbono de estudiantes, y docentes y personal administrativo, en cada método de secado de manos en la USFQ en 2015

Descripción	Toallas de papel	Secadores eléctricos convencionales	Secadores eléctricos de alta velocidad
Emisión de CO ₂ en el ciclo de vida* (t CO ₂ a ⁻¹)	4.57	7.56	2.16
Emisión de CO ₂ per cápita** (kg CO ₂ a ⁻¹)	0.51	0.85	0.24
Porcentaje de la huella de carbono de estudiantes	0.08	0.12	0.04
Porcentaje de la huella de carbono de docentes y personal administrativo	0.06	0.10	0.03

Nota. *Corresponde al tercio de emisión total en el ciclo de vida en tres años académicos en la USFQ.

**Para una población de 8025 estudiantes y 913 docentes y personal administrativo.

Conclusiones

En el ciclo de vida de toallas de papel se consume menos energía y se emite menos CO₂ que en el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada en un principio. Por otro lado, se demuestra que los secadores eléctricos de alta velocidad representan la mejor opción ya que

reducen significativamente el consumo de energía y la emisión de CO₂ durante su ciclo de vida en tres años académicos en la USFQ en comparación con las otras alternativas analizadas (ver Figura 14 y Figura 15).

El 76% del consumo energético y el 77% de las emisiones de CO₂ asociadas al ciclo de vida de toallas de papel en tres años académicos en la USFQ, corresponden a la etapa de extracción de recursos y producción de materiales (ver Figura 10). La elevada cantidad de toallas de papel utilizadas en la institución y el alto costo energético que implica la fabricación de un dispensador de plástico ABS son los principales responsables. Adquirir dispensadores de toallas de papel de un material diferente, como polietileno de alta densidad, reduciría el consumo energético y en consecuencia las emisiones de CO₂ en la fabricación de este producto. Sin embargo, aún con este cambio, los secadores eléctricos de alta velocidad continúan siendo la mejor opción.

En el ciclo de vida de secadores eléctricos convencionales en tres años académicos en la USFQ, la etapa de uso representa un 84% del consumo energético y un 72% de las emisiones de CO₂ (ver Figura 12). Esto se debe principalmente a la potencia del secador, 1800 W; y al prolongado tiempo de uso para completar el secado correcto de las manos, 28 segundos. Por su parte, la etapa de extracción de recursos y producción de materiales constituye un 15% del consumo energético y un 27% de las emisiones de CO₂ (ver Figura 12). La energía consumida en esta etapa se asocia en mayor proporción a la fabricación del aluminio, material principal en un secador eléctrico convencional, y a la manufactura del secador en sí. Por otro lado, las elevadas emisiones de CO₂ se dan porque China, lugar donde se fabrican los secadores, tiene un alto factor de emisión eléctrico. Sin embargo, si los secadores fueran adquiridos de cualquier otro país productor con un factor de emisión eléctrico menor, las emisiones de CO₂ se reducirían significativamente en esta etapa, pero el resultado total seguiría siendo elevado debido a la etapa de uso.

Los secadores eléctricos de alta velocidad optimizan varias características de los secadores eléctricos convencionales mejorando su comportamiento ambiental. Tienen menor potencia, 1500 W; y un tiempo de secado significativamente menor, 8 segundos, lo que reduce considerablemente el consumo energético y las emisiones de CO₂ asociadas a la etapa de uso. En la etapa de extracción de recursos y producción de materiales el consumo de energía se reduce ya que el acero, material principal en un secador eléctrico de alta velocidad, tiene un menor costo energético en producción que el aluminio. Por otro lado, al igual que los secadores eléctricos convencionales, los secadores eléctricos de alta velocidad son fabricados en China, sin embargo aún si los secadores fueran fabricados en cualquier lugar con un factor de emisión eléctrico menor, la etapa de uso seguiría representado la mayor proporción de la emisión de CO₂ total. En resumen, los secadores eléctricos de alta velocidad son la mejor opción en cuanto a emisiones de CO₂ y consumo de energía durante su ciclo de vida en tres años académicos en la USFQ.

Otro tipo de estudios se han realizado en torno a esta problemática. Excel Dryer Inc., empresa creadora de un secador eléctrico de alta velocidad solicitó a la empresa Quantis realizar un ACV para determinar si su producto era mejor en términos ambientales. En este estudio se analizaron tres alternativas: secador eléctrico convencional, secador eléctrico de alta velocidad marca XLERATOR y toallas de papel. El resultado fue que el secador eléctrico XLERATOR, de la empresa Excel Dryer Inc., era la mejor opción en torno a emisiones de CO₂ (Dettling & Margni, 2009). En base a este estudio, Montalbo et al. (2011), realizaron una investigación que a más de los tres métodos analizados por Quantis, incluía 2 métodos adicionales: toallas de algodón y secador eléctrico Airblade, con características similares al secador XLERATOR. El resultado fue que el secador eléctrico Airblade representaba la mejor opción en términos ambientales en torno a emisiones de CO₂. Ambos estudios fueron desarrollados en edificios públicos como un escenario estándar; sin embargo, son pocos los

estudios realizados para entornos con diferentes características. El escenario de análisis en esta investigación es la USFQ para el año 2015, con una comunidad de aproximadamente 8000 personas entre estudiantes, personal académico y administrativo (Oficina de Registro USFQ, comunicación personal, 10 de marzo de 2017). Por ende, realizar este tipo de estudio es de suma importancia dada la falta en información en este entorno.

En cuanto a la reducción que representa la implementación de la alternativa de secadores eléctricos de alta velocidad en la huella de carbono de la USFQ, se debe tener en cuenta que el método de ACV es diferente al del cálculo de la huella de carbono. De acuerdo a la Tabla 24, el porcentaje de la huella de carbono para estudiantes, y personal docente y administrativo, que representa la emisión de CO₂ per cápita asociada a cada método de secado de manos es menor a 0.5%. Por lo tanto, la implementación de secadores eléctricos de alta velocidad no constituye una reducción significativa en la huella de carbono de la USFQ ya que existen rubros cuyas emisiones de CO₂ asociadas tienen un peso porcentual mucho mayor. Este es el caso del transporte desde y hacia la USFQ que representa un 76.6% de la huella de carbono de la institución en 2015 y se considera en el alcance 3 como parte de las emisiones indirectas. El ACV presentado en este estudio proporciona una guía para mejorar el método del alcance 3 ya que las emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de distintos productos utilizados en la institución componen el sinnúmero de emisiones indirectas que no se consideran actualmente en el cálculo de la huella de carbono debido a su complejidad e incertidumbre.

En conclusión, se recomienda eliminar la opción de toallas de papel como método de secado de manos en la USFQ y cambiar los secadores eléctricos convencionales por secadores eléctricos de alta velocidad. A pesar de que esto no representa una reducción en la huella de carbono de la institución, sí representa una reducción significativa en cuanto a consumo de energía y emisiones de CO₂ en el ciclo de vida. De esta manera, la USFQ está

más cerca de su objetivo de posicionarse como una universidad modelo en temas de innovación y sustentabilidad tanto en Ecuador como en América Latina.

Referencias

- Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. (2015). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Recuperado a partir de www.regulacionelectrica.gob.ec
- Anasagasti, J. (2012). *Buques Portacontenedores. El Trieno del Gigantismo 2010-2011-2012*. Bilbao.
- Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (2014). Cámara de la industria de pulpa, papel y cartón. Recuperado el 24 de marzo de 2017, a partir de <http://www.andi.com.co/cipc/Paginas/default.aspx>
- Asociación Peruana de Agentes Marítimos. (2015). Comunicados APAM. Recuperado el 10 de mayo de 2017, a partir de <http://www.apam-peru.com/web/bienvenido-a-apam/>
- Blanca, R. (2003). El Analisis del Ciclo de Vida y la Gestion Ambiental. *Dyna, 1*, 1–7. Recuperado a partir de <http://www.unal.edu.co>
- Cámara Marítima del Ecuador. (2016, octubre). Guayaquil: libertad y competencia. *Informar*, 36. Recuperado a partir de www.camae.org
- Confederation of European Paper Industries. (2010). *General Cargo Securing Guidelines for Pulp and Paper Products. Transport on road according to the European Standard EN 12195-1:2010*.
- Conserve Energy Future. (2009). What is Cardboard Recycling and How to Recycle Cardboard? Recuperado el 23 de marzo de 2017, a partir de <http://www.conserve-energy-future.com/cardboard-recycling.php>
- Detting, J., & Margni, M. (2009). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Hand Drying Systems: The XLERATOR Hand Dryer, Conventional Hand Dryers And Paper Towel Systems.
- Environmental Protection Agency. (1985). Miscellaneous data and conversion factors.

Appendix A., 32.

- Environmental Protection Agency. (2014). *Energy impacts*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Escuela de Ingenierías Industriales. (2013). Celulosa. Recuperado el 22 de marzo de 2017, a partir de <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pls/celulosa.htm>
- Escuela Superior de Negocios Internacionales. (1995). Logística y transporte marítimo en China. Recuperado el 29 de marzo de 2017, a partir de <http://www.reingex.com/China-Transporte-Logistica.asp>
- Excel Dryer. (2016). XLERATOR HAND DRYER. Technical Data Sheet. Recuperado el 30 de marzo de 2017, a partir de <http://www.exceldryer.com/pdf-n/Excel-2016-XLERATOR-PCR-Tech-Sheet-web.pdf>
- Fastdry. (2015). Hand Dryer Series. Description: HK-1800ES. Recuperado el 28 de marzo de 2017, a partir de <http://www.handdryer.com/template/import/Fastdry-HK1800ES.pdf>
- Flexiplast. (2015). Flexiplast. Empaques Flexibles Ecuador. Recuperado el 21 de marzo de 2017, a partir de <http://www.flexiplast.com/web/>
- Garg, A., Kazunari, K., & Pulles, T. (2006). Chapter 1. Introduction. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy*, 2, 29. https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2006.00937_1.x
- GRANTA DESIGN. (2017). Acrylonitrile butadiene styrene (ABS). Recuperado el 22 de marzo de 2017, a partir de <http://www.grantadesign.com/education/datasheets/ABS.htm>
- Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. (2015). *Plásticos Del Hogar 2015*. Recuperado a partir de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/05/PROEC_AS2015_PLASTICOS_HOGAR.pdf
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2006). *Guía para la Gestión del Combustible en las Flotas de Transporte*. Madrid.

International Energy Agency. (2016). *CO2 emissions from fuel combustion Highlights*. París.

Recuperado a partir de <http://www.iea.org>

Joseph, T., Baah, K., Jahanfar, A., & Dubey, B. (2015). A comparative life cycle assessment of conventional hand dryer and roll paper towel as hand drying methods. *Science of the Total Environment*, 515–516, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.112>

Jun, P., Gillenwater, M., & Barbour, W. (2001). CO₂, CH₄, and N₂O Emissions from Transportation-Water-Borne Navigation. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, 71–92. Recuperado a partir de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_4_Water-borne_Navigation.pdf

Kimberly Clark Professional. (2010a). Ficha Técnica Dispensador Toalla de Manos en Rollo. Recuperado el 4 de marzo de 2017, a partir de

<http://www.kcprofessional.com.ec/recursos/fichas-técnicas>

Kimberly Clark Professional. (2010b). Ficha técnica KCP TOA AIRFLEX RL SCOTT BL 1P 6X1X305. Recuperado el 4 de marzo de 2017, a partir de

<http://www.kcprofessional.com.ec/recursos/fichas-técnicas>

Kimberly Clark Professional. (2015). KIMBERLY-CLARK PROFESSIONAL* Ecuador.

Recuperado el 4 de marzo de 2017, a partir de <http://www.kcprofessional.com.ec/>

Megacavedi. (2017). Quienes Somos | Mega Cavedi Ambientes Institucionales. Recuperado el 4 de marzo de 2017, a partir de <http://www.megacavedi.com.ec/4->

[quienes_somos.html](http://www.megacavedi.com.ec/4-quienes_somos.html)

Montalbo, T., Gregory, J., & Kirchain, R. (2011). Life Cycle Assessment of Hand Drying Systems. *Massachusetts Institute of Technology*, 113.

PANASA. (2015). Papelera Nacional S.A. - PANASA. Recuperado el 24 de marzo de 2017, a partir de <http://www.panasa.com.pe/perfil.html>

PICA. (2017). Pica. ¿Quiénes somos? Recuperado el 21 de marzo de 2017, a partir de

<http://www.pica.com.ec/nosotros>

Plastics Europe. (2005). *Eco-profiles of the European Plastics Industry. Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer (ABS)*.

Rankin, J. (2012). Energy Use in Metal Production. *High Temperature Processing Symposium*. Recuperado a partir de

<https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP12183&dsid=DS3>

Salazar, F., Dalgo, D., Velasco, A., & Ochoa, V. (2015). *Actualización de la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2015*. Centro EULA-Chile. Universidad de Concepción. Universidad San Francisco de Quito, Quito.

SENAE. (2015). *Reporte de Importaciones a Consumo*. Recuperado a partir de

https://www.aduana.gob.ec/news/dwh_statistics_rep_impo.action

Stacey, M. (2015). *Aluminium Recyclability and Recycling*. Nottingham: Cwningen Press

2015. Recuperado a partir de [http://www.world-](http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2015/10/05/tsc_report2_arr_72dpi_release_locked.pdf)

[aluminium.org/media/filer_public/2015/10/05/tsc_report2_arr_72dpi_release_locked.pdf](http://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2015/10/05/tsc_report2_arr_72dpi_release_locked.pdf)

Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Gonzalo, M. R., Santonja, G. G., Roudier, S., & Sancho, L. D.

(2015). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp , Paper and Board*. <https://doi.org/10.2791/370629>

Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006). An environmental analysis of injection molding.

Electronics and the Environment, 2006., 195–200.

<https://doi.org/10.1109/ISEE.2006.1650060>

Transport Information Service. (2013). Cellulose, Chemical pulp. Recuperado el 24 de marzo

de 2017, a partir de http://www.tis-gdv.de/tis_e/ware/fasern/zellulos/zellulos.htm

Universal Cargo Management. (2016). Container Loading Guidelines. Recuperado el 24 de

marzo de 2017, a partir de <http://www.universalcargo.com/container-loading-guidelines/>

Universidad San Francisco de Quito. (2014). Oficina de Innovación y Sustentabilidad.

Recuperado el 17 de febrero de 2017, a partir de

https://www.usfq.edu.ec/sobre_la_usfq/oficinainnovacion/Paginas/proyectos.aspx

Viteri, F. (2013). *Cálculo de la huella de carbono de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial*. Recuperado a partir de

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7253/1/T-ESPE-047307.pdf>

Vlachopoulos, J. (2009). An assessment of energy savings derived from mechanical recycling of polyethylene versus new feed stock; A report prepared for the World Bank, 1–22.

World Shipping Council. (2017). Top 50 World Container Ports. Recuperado el 30 de abril de 2017, a partir de <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports>

Anexo A: Precios de productos

En la Tabla 25 se presentan los precios de los productos implicados en el ciclo de vida de cada opción de secado durante tres años académicos en la USFQ.

Tabla 25

Precio de cada producto relacionado al ciclo de vida de toallas de papel, secadores eléctricos convencionales y secadores eléctricos de alta velocidad en tres años académicos en la USFQ

Opción	Producto	Cantidad en tres años académicos en la USFQ	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Toallas de papel	Rollo de toallas de papel	7920	14.8	117 216
	Dispensador	120	25.0	3 000
	Bolsa de basura	8400	0.18	1 512
	Tacho de basura	120	8.91	1 069.2
				122 797.2
Secadores eléctricos convencionales	Secador	40	70.0	2800
Secadores eléctricos de alta velocidad	Secador	40	290	11600

Nota. Los precios están dados en dólares americanos (L. Simbaña, comunicación personal, 23 de mayo de 2017).