

## Un Modelo de Generación de Residuos Hospitalarios para la Región Metropolitana de Chile

Ricardo Cabello

*Departamento de Ingeniería de Transporte  
Escuela de Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile*

Enzo Sauma<sup>a</sup>

*Departamento de Ingeniería de Industrial y de Sistemas  
Escuela de Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile  
esauma@ing.puc.cl*

### Resumen

Uno de los pasos esenciales para administrar eficientemente los residuos hospitalarios es el conocer, y tener la capacidad de predecir, la magnitud de los distintos tipos de desechos hospitalarios que se generan. En Chile, la ausencia casi total de modelos cuantitativos que predigan el volumen de generación de los distintos tipos de desechos hace más difícil su gestión. El objetivo de este artículo es el proponer un modelo cuantitativo que caracterice formalmente el proceso de generación de los distintos tipos de residuos hospitalarios para cada tipo de establecimiento de salud existente en la Región Metropolitana de Chile. Este artículo estudia los desechos hospitalarios generados por 73 establecimientos de salud de la Región Metropolitana (42 hospitales y 31 clínicas privadas) y propone un modelo de generación de residuos hospitalarios que utiliza un sistema de ranking (o jerarquización) en los tipos de establecimientos de salud para estimar el número de camas que generan cada categoría de residuo hospitalario. El modelo propuesto es, además, ajustado para tomar en consideración la variabilidad diaria de la generación de residuos. Dado el alto costo de obtención de información precisa sobre la forma en que cada tipo de residuo hospitalario es generado, el modelo propuesto sirve como una herramienta simple y útil para mejorar la gestión de los residuos hospitalarios en los distintos establecimientos de salud.

**Palabras Claves:** Gestión de servicios de salud, manejo de residuos hospitalarios, residuos hospitalarios, sistema de ranking.

### Introducción

Se define como residuos hospitalarios al conjunto de residuos generados en hospitales, clínicas, consultorios y laboratorios clínicos y dentales como resultado de las distintas actividades que se desarrollan en ellos. Los residuos hospitalarios

---

<sup>a</sup> Correspondencia a Enzo Sauma, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306 – Correo 22, Santiago, Chile. Teléfono: 56-2-3544272. Fax: 56-2-5521608.

presentan riesgos y dificultades especiales en su manejo debido fundamentalmente al carácter infeccioso de algunas de sus componentes, a la heterogeneidad de su composición, a la presencia frecuente de objetos cortopunzantes y a la presencia eventual de cantidades menores de sustancias tóxicas y radiactivas de baja intensidad.

Internacionalmente existe una amplia experiencia en términos del manejo de los residuos hospitalarios. A modo de ejemplo, la "Environmental Protection Agency" de los Estados Unidos posee un centro especializado que realiza investigaciones en el tema y ha elaborado una serie de manuales para el manejo adecuado de los desechos hospitalarios.<sup>1</sup>

En Chile, la falta de recursos de muchos de los establecimientos de salud, en especial en el sector público, y el escaso conocimiento acerca de los impactos en salud de un manejo deficiente de los desechos hospitalarios, ha hecho que no se le asigne gran importancia a la investigación en este tema. Esto ha redundado en un muy limitado número de estudios sobre la materia. Destacan dos estudios, realizados en 1994 y 1996, respectivamente.

En 1994, el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) conjuntamente con la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) solicitaron a la empresa EWI el desarrollo de un estudio para caracterizar los residuos sólidos provenientes de recintos hospitalarios de la Región Metropolitana, diferenciando las cantidades y tipos de residuos producidos por los establecimientos de salud muestreados.<sup>2</sup> Este estudio mostró graves deficiencias en el manejo de los residuos hospitalarios por parte de la mayoría de los establecimientos de salud muestreados.

Otro interesante estudio chileno en el tema fue realizado por la "Japan International Cooperation Agency" (JICA) en conjunto con la empresa ADIMARK y CONAMA en 1996.<sup>3</sup> Las conclusiones obtenidas en este estudio no difieren con respecto a las obtenidas en el estudio realizado por la compañía EWI en 1994 (a pesar de que este estudio realiza un muestreo mucho más amplio de los establecimientos de salud de la Región Metropolitana).

No obstante el valor de los dos estudios anteriores, ninguno de ellos presenta un modelo estructurado del proceso de generación de los distintos tipos de desechos hospitalarios. La existencia de dichos modelos permitiría una mejor administración y gestión de los residuos hospitalarios por parte de los establecimientos de salud.

El tema de la creación de un modelo de generación de residuos hospitalarios ha sido abordado por algunos autores.<sup>4,5,6,7</sup> Sin embargo, es importante destacar que los modelos de generación de residuos hospitalarios son usualmente muy sensibles a las características particulares de cada establecimiento de salud y a las prácticas específicas del personal a cargo del manejo de los residuos hospitalarios. Es por esta razón que resulta de gran utilidad el disponer de modelos "regionales" que permitan caracterizar formalmente el proceso de generación de residuos hospitalarios en un área específica.

El propósito de esta investigación fue la creación de un modelo de generación de los distintos tipos de residuos hospitalarios para cada tipo de establecimiento de salud existente en la Región Metropolitana de Chile.

## **Método**

Este artículo estudia los desechos hospitalarios generados por 73 establecimientos de salud de la Región Metropolitana de Chile (los 42 hospitales de la Región Metropolitana y 31 clínicas privadas, que representan el 53 % del total de clínicas en la región). Dichos establecimientos son clasificados por el ministerio de Salud en cuatro categorías: establecimientos tipo 1 o de alta complejidad, establecimientos tipo 2 o de mediana complejidad (básicamente se diferencian de los establecimientos tipo 1 por no poseer todas las unidades básicas de la medicina), establecimientos tipo 3 o de baja complejidad, y establecimientos tipo 4 o de muy baja complejidad (se diferencian de los del tipo 3 en que no practican cirugías, por lo que no poseen camas de hospitalización).<sup>8,9</sup> En este estudio los establecimientos de salud se agruparon en tres tipos, agregando los establecimientos tipo 3 y tipo 4 en una sola categoría.

Adicionalmente, este estudio hace una distinción entre hospitales y clínicas debido a las diferencias en la cantidad de pacientes que se encuentran hospitalizados dentro de una misma pieza del establecimiento, lo que tiene importantes implicancias en el nivel de agregación de los distintos tipos de residuos hospitalarios.

En este estudio se usa la clasificación de residuos hospitalarios proporcionada por la compañía EWI, la que corresponde a la más aceptada actualmente en Chile.<sup>2</sup> La compañía EWI distingue seis categorías generales de residuos hospitalarios: residuos patológicos, residuos infecciosos (cultivos y cepas, derivados de la sangre, cortopunzantes, desechos contaminados), residuos peligrosos (químicos, medicinas, drogas), residuos radioactivos, residuos de animales y residuos comunes.

Para modelar el proceso de generación de los residuos hospitalarios, primero se establece estadísticamente intervalos de confianza del número de establecimientos que generan cada tipo de residuo hospitalario. Luego, se utiliza un sistema de ranking (o jerarquización) en los tipos de establecimientos de salud para estimar el número de camas que generan cada categoría de residuo hospitalario. Con estos valores, y los datos agregados de generación de residuos hospitalarios proporcionados por la JICA, se estima la generación de cada tipo de residuo hospitalario en kg/día/cama. Usando esta información, se formula un modelo de variables binarias de la generación de los residuos hospitalarios para la Región Metropolitana de Chile. Finalmente, se sugiere un método para ajustar el modelo propuesto de acuerdo a la variabilidad diaria de la generación de residuos hospitalarios.

## **Resultados**

En primer lugar, se establecieron intervalos de confianza del número de establecimientos que generan cada tipo de residuo hospitalario. Para ello se estableció una correspondencia entre los tipos de actividades que se realizan en los establecimientos de salud (distinguiendo, además, entre hospitales y clínicas) y los tipos de desechos hospitalarios que se generan en dichos establecimientos. Por ejemplo, los hospitales tipo 1 poseen todas las unidades básicas de medicina y, por lo tanto, producen todos los tipos de residuos hospitalarios. Por su parte, los hospitales tipo 2 generalmente poseen entre 3 y 4 de las unidades básicas de medicina y, por lo tanto, producen sólo ciertos tipos de residuos hospitalarios (residuos patológicos, infecciosos, peligrosos y comunes).

Para determinar los intervalos de confianza del número de establecimientos que generan cada tipo de residuo hospitalario, se consideró el porcentaje de presencia de cada tipo de residuo hospitalario que era más bajo, el promedio y el más alto de cada

categoría, de acuerdo a las estadísticas proporcionadas por la JICA.<sup>3</sup> La Tabla 1 muestra los intervalos de confianza resultantes del número de hospitales y clínicas que generan cada tipo de residuo hospitalario. En la Tabla 1 se presenta, para cada tipo de residuo, la cota inferior (primer número del paréntesis), el promedio (número central del paréntesis) y la cota superior (último número del paréntesis) del número estimado de hospitales/clínicas que generan residuos de dicho tipo.

**Tabla 1. Intervalos de confianza del número de hospitales y clínicas que generan cada tipo de residuo hospitalario**

<b>Tipo de residuo hospitalario generado</b>	<b>Número de hospitales que generan ese tipo de residuo hospitalario</b>	<b>Número de clínicas que generan ese tipo de residuo hospitalario</b>
Residuos Patológicos	[34; 35; 36]	[20; 23; 25]
Residuos Infecciosos	[25; 35; 39]	[9; 20; 31]
Residuos Peligrosos	[25; 26; 27]	[6; 10; 13]
Residuos Radioactivos	[13; 15; 17]	[1; 1; 3]
Residuos de Animales	[4; 6; 8]	[0; 0; 0]
Residuos Comunes	[19; 36; 42]	[7; 23; 31]

Al igual que en el estudio realizado por la JICA, en el presente estudio se asume que, del total de 42 hospitales existentes en la región metropolitana, 15 corresponden a hospitales tipo 1 (los que cuentan con 7.689 camas en total), 13 corresponden a hospitales tipo 2 (los que poseen 3.224 camas en total) y 14 son del tipo 3 y 4 (los que tienen 2.025 camas en total).<sup>3</sup> Asimismo, se asume que, de las 31 clínicas consideradas en este estudio, ninguna corresponde a clínicas tipo 1, 8 corresponden a clínicas tipo 2 (las que cuentan con 693 camas en total) y 23 son del tipo 3 y 4 (las que poseen 404 camas en total).

Usando los intervalos de confianza del número de hospitales y clínicas que generan cada tipo de residuo hospitalario (Tabla 1) y el número de camas por tipo de establecimiento, se estimó el número de camas que generan cada categoría de residuo hospitalario mediante el uso de un sistema de ranking en los tipos de establecimientos de salud. Dicha estimación fue realizada bajo tres escenarios posibles: un escenario pesimista (considerando la cota inferior de los intervalos de confianza de la Tabla 1), un escenario normal (considerando el valor promedio de dichos intervalos de confianza) y un escenario optimista (considerando la cota superior de dichos intervalos de confianza). En todos los escenarios, los hospitales tipo 1 encabezan el ranking de los hospitales y las clínicas tipo 2 encabezan el ranking de las clínicas. Los resultados se resumen en la Tabla 2.

Para entender el funcionamiento del sistema de ranking que fue utilizado, se explicará la forma como se obtuvo la cota inferior del intervalo de confianza para el número de camas en hospitales que generan residuos patológicos. Según la Tabla 1, la cota inferior del número de hospitales que generan residuos patológicos es 34. Usando el sistema de ranking, esto implica que dentro de estos 34 hospitales están incluidos los 15 hospitales tipo 1, los 13 hospitales tipo 2 y 6 hospitales tipo 3 y 4.

**Tabla 2. Estimación del número de camas por categoría de residuo hospitalario**

<b>Tipo de residuo hospitalario</b>	<b>Número de camas en hospitales que generan ese tipo de residuo hospitalario</b>	<b>Número de camas en clínicas que generan ese tipo de residuo hospitalario</b>
Residuos Patológicos	[11.781; 11.926; 12.070]	[904; 956; 992]
Residuos Infecciosos	[10.169; 11.926; 12.504]	[711; 904; 1.097]
Residuos Peligrosos	[10.169; 10.417; 10.665]	[520; 728; 780]
Residuos Radioactivos	[6.664; 7.689; 8.185]	[87; 87; 260]
Residuos de Animales	[2.050; 3.076; 4.101]	[0; 0; 0]
Residuos Comunes	[8.681; 12.070; 12.938]	[606; 956; 1.097]

Por lo tanto, el número estimado de camas en hospitales que generan residuos patológicos es:  $7.689 \cdot (15/15) + 3.224 \cdot (13/13) + 2.025 \cdot (6/14) = 11.781$  camas. De forma análoga se obtuvieron los otros resultados mostrados en la Tabla 2.

Luego de estimar el número de camas que generan cada categoría de residuo hospitalario, se calcula la generación, en kg/día/cama, de cada tipo de residuo hospitalario. Para ello se utilizan los datos agregados de generación de residuos hospitalarios proporcionados por la JICA, los que se resumen en la Tabla 3.<sup>3</sup>

**Tabla 3. Generación de residuos hospitalarios según estudio de la JICA.<sup>3</sup>**

<b>Tipo de residuo hospitalario</b>	<b>Generación en hospitales (en toneladas anuales)</b>	<b>Generación en clínicas (en toneladas anuales)</b>
Residuos Patológicos	859	99
Residuos Infecciosos	5.020	519
Residuos Peligrosos	53	12
Residuos Radioactivos	27	0,4
Residuos de Animales	30	0
Residuos Comunes	12.866	1.125
<b>Total de Residuos</b>	<b>18.855</b>	<b>1.755,4</b>

Con los datos de la tabla 3 y los valores estimados del número de camas por categoría de residuo hospitalario (Tabla 2), se estima la generación de cada tipo de residuo hospitalario, en kg/día/cama, siguiendo el siguiente procedimiento: (i) se divide la generación agregada de residuos hospitalarios (valores de la Tabla 3) por 365, (ii) el resultado (en toneladas/día) se divide por el factor 0,75, que representa el nivel de utilización promedio de una cama en un establecimiento de salud (este estudio asume que una cama es utilizada como promedio un 75% del año) y (iii) el resultado se divide por el número de camas calculado en la Tabla 2. La tabla 4 muestra los resultados de la estimación de la generación de cada tipo de residuo hospitalario en kg/día/cama.

En la Tabla 4 se observa que, como era de esperar, la estimación que presenta una mayor varianza corresponde a la generación de residuos comunes, debido principalmente a la gran amplitud de esta categoría de desecho hospitalario. De

**Tabla 4. Generación de cada categoría de residuo hospitalario en kg/día/cama**

<b>Tipo de residuo hospitalario</b>	<b>Generación en hospitales (en kg/día/cama)</b>	<b>Generación en clínicas (en kg/día/cama)</b>
Residuos Patológicos	[0,260; 0,263; 0,266]	[0,365; 0,378; 0,400]
Residuos Infecciosos	[1,467; 1,538; 1,803]	[1,728; 2,097; 2,666]
Residuos Peligrosos	[0,018; 0,019; 0,019]	[0,056; 0,060; 0,084]
Residuos Radioactivos	[0,012; 0,013; 0,015]	[0,006; 0,017; 0,017]
Residuos de Animales	[0,026; 0,036; 0,053]	[0; 0; 0]
Residuos Comunes	[3,633; 3,894; 5,414]	[3,746; 4,299; 6,782]

hecho, algunos establecimientos consideran los desechos de materiales de construcción como parte de los residuos comunes del establecimiento.

Con el objetivo de formular un modelo de la generación de los residuos hospitalarios producidos por los establecimientos de salud de la Región Metropolitana de Chile, se define una variable binaria por cada tipo de residuo hospitalario, la que toma un valor 1 si el establecimiento genera dicho tipo de residuo hospitalario y 0 en caso contrario. Dichas variables se denominan  $RP_a$ ,  $RI$ ,  $RP$ ,  $RR$ ,  $RA$  y  $RC$  para el caso de los residuos patológicos, infecciosos, peligrosos, radioactivos, de animales y comunes, respectivamente. De este modo, usando las variables binarias previamente definidas y los resultados presentados en la Tabla 4, el modelo de generación de los residuos hospitalarios producidos por los establecimientos de salud de la Región Metropolitana está dado por la siguiente ecuación: Total residuos hospitalarios (en kg/día/cama) =  $RP_a \cdot G_{RP_a} + RI \cdot G_{RI} + RP \cdot G_{RP} + RR \cdot G_{RR} + RA \cdot G_{RA} + RC \cdot G_{RC}$ , donde los parámetros  $G_{RP_a}$ ,  $G_{RI}$ ,  $G_{RP}$ ,  $G_{RR}$ ,  $G_{RA}$  y  $G_{RC}$  toman los valores correspondientes de la Tabla 4. (Es decir, en el caso de un hospital,  $G_{RP_a}$  es un número entre 0,260 y 0,266, con un valor esperado de 0,263. Asimismo, en el caso de una clínica,  $G_{RP_a}$  es un número entre 0,365 y 0,4, con un valor esperado de 0,378. Los otros parámetros del modelo son interpretados análogamente).

No obstante el modelo propuesto anteriormente no considera estacionalidades, dichas estacionalidades son relativamente simples de incorporar (para ello basta con multiplicar los parámetros del modelo por factores de ajuste correspondientes a la generación de residuos por estación). En particular, resulta interesante un ajuste del modelo según estacionalidad semanal, dado que la generación de residuos hospitalarios es bastante diferente durante los distintos días de la semana. Para realizar dicho ajuste, se entrevistó a personal administrativo de 30 de los establecimientos de salud considerados en este estudio, consultando acerca de la estacionalidad semanal del nivel de actividad en seis áreas distintas: asistencia médica, hospitalización, laboratorios, alimentación, administración y servicios complementarios. Con la información recolectada de dichas entrevistas, se calculó el promedio del porcentaje del trabajo semanal que se realiza durante cada día de la semana para cada área. Luego, se estimaron factores de ajuste que representan la desviación respecto del promedio diario del nivel de actividad de cada área de los establecimientos (si el total de actividad semanal de cada área corresponde al 100 %, entonces, en promedio, el nivel de actividad diario representa un 14,3 %).

Para relacionar la estacionalidad del nivel de actividad de cada área con la estacionalidad de la generación de residuos hospitalarios, se establece una correspondencia entre las clases de actividades que se realizan en los establecimientos

y el tipo de desecho hospitalario que se genera en dichos establecimientos. En particular, se asume que los residuos patológicos son generados solamente en el área de asistencia médica, los residuos infecciosos son generados en las áreas de asistencia médica, hospitalización, laboratorio y alimentación, los residuos peligrosos son generados en las áreas de hospitalización y laboratorio, los residuos radioactivos son generados solamente en el área de hospitalización, los residuos de animales son generados solamente en el área de laboratorio y los residuos comunes son generados en las áreas de alimentación, administración y servicios complementarios.

Dado que existen residuos hospitalarios que son producidos en más de un área, se calcula un factor de ajuste por estacionalidad en el modelo de generación de residuos basándose en la variabilidad diaria del nivel de actividad de cada una de las áreas que generan dicho tipo de residuo hospitalario. Por ejemplo, en el caso de los residuos peligrosos, se calcula un factor de ajuste por estacionalidad en función de la variabilidad diaria del nivel de actividad de las áreas de hospitalización y laboratorio. La ponderación adecuada de cada una de las áreas que generan cada residuo hospitalario es desconocida. Consecuentemente, se realiza una primera aproximación mediante un promedio simple entre los factores del nivel de actividad de cada una de las áreas que generan cada tipo de residuo hospitalario. De esta forma se calcularon los factores de ajuste por estacionalidad semanal de los parámetros del modelo de generación de residuos hospitalarios. Dichos factores son presentados en la Tabla 5.

**Tabla 5. Factores de ajuste por estacionalidad semanal de los parámetros del modelo de generación de residuos hospitalarios de los establecimientos de salud**

<b>Parámetro</b>	<b>Lun.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Mie.</b>	<b>Jue.</b>	<b>Vie.</b>	<b>Sáb.</b>	<b>Dom.</b>
R. Patológicos	1.12	1.61	1.12	1.19	1.26	0.28	0.42
R. Infecciosos	1.28	1.28	1.21	1.35	1.24	0.31	0.33
R. Peligrosos	1.26	1.05	1.12	1.40	1.40	0.39	0.39
R. Radioactivos	1.19	0.98	0.91	1.33	1.05	0.77	0.77
R. de Animales	1.33	1.12	1.33	1.47	1.75	0.00	0.00
R. Comunes	1.24	1.68	1.14	1.28	1.26	0.30	0.09

## **Discusión**

En este artículo se realiza una primera aproximación para modelar el proceso de generación de los distintos tipos de residuos hospitalarios para cada tipo de establecimiento de salud existente en la Región Metropolitana de Chile. El modelo se basa en un sistema de ranking (o jerarquización) en los tipos de establecimientos que generan cada tipo de residuo hospitalario, utilizado para estimar el número de camas que generan cada categoría de residuo. Además, el modelo propuesto es ajustado para tomar en consideración la variabilidad de la generación de residuos hospitalarios durante los distintos días de la semana.

Es importante destacar que el modelo propuesto es sensible a la ponderación que se asigna a cada una de las áreas de los establecimientos de salud con respecto a la generación de cada tipo de residuo hospitalario. Indudablemente, una mayor precisión en el cálculo de dichas ponderaciones se traduciría en una mayor exactitud del modelo de generación de residuos hospitalarios. Sin embargo, el costo de obtener la información necesaria para estimar las ponderaciones adecuadas es muy alto. Consecuentemente, el modelo propuesto sirve como una herramienta simple y relativamente barata para mejorar la gestión de los residuos hospitalarios en los

establecimientos de salud no sólo de la Región Metropolitana de Chile, sino de otras ciudades grandes. La aplicación del modelo propuesto a otras ciudades debiera funcionar en forma adecuada al ajustar los parámetros usados para calibrar el modelo (número de hospitales y clínicas de cada tipo, clasificación de los establecimientos, asignación de las camas, etc.).

## Referencias

1. ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY / RISK REDUCTION ENGINEERING LABORATORY CENTER FOR ENVIROMENTAL RESEARCH INFORMATION OFFICE OF RESEARCH AND DEVELOPMENT. Guides to pollution prevention: selected hospital waste streams. Cincinatti, Ohio, EE.UU., 1990. Disponible en: [www.p2pays.org/ref/02/01059.pdf](http://www.p2pays.org/ref/02/01059.pdf) [Consultado el 15 de Enero de 2006].
2. EWI, CONAMA, SESMA. Estudio de Manejo de Residuos Sólidos en Establecimientos Hospitalarios en la Región Metropolitana. Santiago, Chile, 1994.
3. JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, CONAMA, ADIMARK. Capítulo V: Residuos Hospitalarios. En: Residuos Sólidos en Chile. Santiago, Chile, 1996.
4. TOWNEND W, CHEESEMAN C. Guidelines for the evaluation and assessment of the sustainable use of resources and of wastes management at healthcare facilities. Waste Manag Res 2005; 23(5): 398-408.
5. SALKIN I, KRISIUNAS E, TURNBERG W. Medical and infectious waste management. En: J.Y. Richmond ed., Anthology of Biosafety II. Facility Design Considerations, American Biological Safety Association, Mundelein, Illinois, EE.UU., 2000.
6. HAMODA H, EL-TOMI H, BAHMAN Q. Variations in hospital waste quantities and generation rates. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng 2005; 40(2): 467-476.
7. ADSAVAKULCHAI MS. Study on waste from hospital and clinics in Phitsanulok. Online Journal of Health and Allied Sciences 2002; 1(3). Disponible en: [www.ojhas.org/issue3/2002-3-3.htm](http://www.ojhas.org/issue3/2002-3-3.htm) [Consultado el 07 de Noviembre de 2005].
8. MINISTERIO DE SALUD. Situación de la Salud en Chile: Catastro de los Establecimientos de Salud en la Región Metropolitana. Santiago, Chile, 1996.
9. SERVICIO REGIONAL MINISTERIAL DE SALUD. Estadísticas de los Establecimientos de Salud en la Región Metropolitana. Santiago, Chile, 2000.