

EVALUACIÓN DE MODELOS DE EXPOSICIÓN HUMANA DÉRMICA A PESTICIDAS (DERMAL EXPOSURE)¹.

AUTOR: CAMILO ANDRÉS LESMES FABIAN

ORCID [0000-0003-0325-7816](https://orcid.org/0000-0003-0325-7816)

Universidad Santo Tomás, Tunja

Resumen: La identificación de la dosis estimada de exposición humana a un pesticida, es un aspecto fundamental del uso de dicho compuesto, pues este dato es el más importante y de él dependerá cualquier medida de protección establecida con el fin de reducir el riesgo en la salud de un individuo o de una población expuesta. En los países desarrollados y en algunas fincas de explotación agroindustrial de Latinoamérica, existen algunas herramientas para la evaluación de dicha exposición pero su implementación en pequeñas parcelas de países en vías de desarrollo es problemática debido a los costos de producción.

El autor ha realizado un metanálisis de los resultados de exposición humana de acuerdo a los modelos teóricos de uso de contaminantes, y ha seleccionado y valorado cada uno de los modelos más apropiados para evaluar la exposición a los pesticidas en sistemas agrícolas en países en vía de desarrollo.

Ha clasificado ocho modelos (i.e. COSHH, DERM, DREAM, EASE, PHED, RISKOFDERM, STOFFENMANAGER and PFAM) de acuerdo a múltiples criterios de análisis y como resultado de esta evaluación, la aplicación teórica y experimental de cinco modelos (i.e. DERM, DREAM, PHED, RISKOFDERM and PFAM) en unos sistemas agrícolas del cultivo de papa, flores y cebolla larga en Boyacá, Colombia. Los resultados muestran que los modelos proveen diferentes estimaciones de exposición humana, las cuales no son completamente comparables.

¹ Fabian, C.L.; Binder, C.R. Dermal Exposure Assessment to Pesticides in Farming Systems in Developing Countries: Comparison of Models. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 4670-4696. <https://doi.org/10.3390/ijerph120504670> (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). traducido y con algunas modificaciones por Bibiana Matilde Bernal Gómez 0000-0002-4897-3368 y por el autor dentro del proyecto de investigación SGI DIN VIE [1647] ASOCIACION DE ENFERMEDADES CRONICAS DEGENERATIVAS Y METABOLICAS CON EL USO DE PESTICIDAS EN LAS VEREDAS DE CUITIVA, TOTA Y AQUITANIA, BOYACA.

No obstante, debido a la simplicidad del algoritmo y la especificidad de los parámetros, los modelos DERM, DREAM y PFAM se han encontrado como los más apropiados para ser aplicados en estudios de caso en los países en vías de desarrollo.

Palabras Clave: Valoración de Exposición Humana, Países en vías de desarrollo, Modelos de Estimación de Exposición Humana, Pesticidas, Cultivo de Papa.

1. Introducción

Uno de los campos de interés de la salud ocupacional y de la salud pública es del uso apropiado de pesticidas pues se han encontrado datos de asociación causal con algunos tipos de cáncer, enfermedades neurológicas, síntomas respiratorios y alteraciones en la función endocrina (Ospina, 2008) y del sistema reproductivo. A pesar de conocerse su relación con la enfermedad humana, algunos son considerados como un insumo clave para la agricultura permitiendo las técnicas de producción intensiva (Glass and Machera, 2009). Por lo tanto reducir la dosis de exposición de dichos pesticidas es fundamental para proteger la salud humana. El sector agrícola en Colombia usa 3.8 millones de hectáreas de tierra para cultivos transitorios y permanentes. Durante la última década, un promedio de 82,000 toneladas de pesticidas fueron aplicados por año (17% insecticidas, 47 % herbicidas y un 35 % de fungicidas y bactericidas) (FAO, 2009).

Estos datos sugieren una probabilidad de que parte de la población y el medio ambiente colombianos estén siendo expuestos a los efectos negativos derivados del uso de los pesticidas.

Por ejemplo, los sistemas de agricultura de la papa ocupan 128,700 hectáreas con 230,000 de unidades de producción las cuales han tenido una producción de 2,3 millones de toneladas en 2012 y han usado 32,5 kilogramos por hectárea de algún tipo de pesticida con ingredientes activos (M.A.D.R., 2009).

Algunos de métodos para evaluar la exposición humana, son indirectos y son financieramente más económicos, y aunque han sido obtenidos de procesos ocupacionales en procesos industriales en Europa o Estados Unidos y no siempre relacionados con procesos agrícolas, pueden ofrecer una alternativa al manejo de pesticidas en áreas de estudio de países en desarrollo, pero es necesario hacer pruebas de convalidación.

Aunque no hay un consenso acerca del modelo más apropiado para evaluar la exposición humana a estos productos y el riesgo de enfermedad en los habitantes y trabajadores de los sistemas agrícolas de los países en desarrollo, esta revisión ha planteado como objetivo

clasificar cuales de los modelos existentes son factibles para ser aplicados en el estudio de caso de algunos sistemas agrícolas de países en vías de desarrollo.

2. Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica del modelo con base en un estudio previo (Lesmes, 2012) y teniendo en cuenta como prioridad que fueran hechos con base en un grupo objetivo, tuviesen claramente los parámetros de descripción del modelo, que tuviesen claridad sobre la dispersión en el ambiente del pesticida y su análisis detallado en el cuerpo del individuo expuesto, y por su potencial para ser aplicados en la evaluación del uso de pesticidas en sistemas agrícolas en países en vías de desarrollo. Se encontraron ocho modelos validos que cumplieron con los requisitos establecidos y con ellos se realizó un análisis multiparamétrico de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Históricos: Características generales del modelo entre las que se tuvo en cuenta, año de desarrollo, país de origen, objetivo del modelo y base conceptual;
- b) Facilidad para usar el modelo: de acuerdo al grupo objetivo, su disponibilidad, dirección, conocimientos/equipos requeridos, confiabilidad, datos requeridos de entrada y tipo de resultado;
- c) Las características de la Evaluación: tipo de exposición, tipo de sustancia, estado físico de la sustancia evaluada, vía de exposición dérmica, descriptor de exposición dérmica y parte del cuerpo evaluado.

Se excluyeron tres modelos por no cumplir con la totalidad de los criterios establecidos y de acuerdo a la exposición de metamidofos, el pesticida más tóxico usado en la región, se realizó la comparación de los 5 modelos

3. Resultados.

Los modelos encontrados con base en el marco de referencia, estudios previos y este diseño fueron los modelos COSHH (Garrod and Rajan-Sithamparanadarajah, 2003), DERM (Blanco et al., 2008), DREAM (Van-Wendel-De-Joode et al., 2003), EASE (Cherrie et al., 2003), PHED (Dosemeci et al., 2002), RISKOFDERM (Van Hemmen et al., 2003), STOFENMANAGER (Marquart et al., 2008) y PFAM (Lesmes-Fabian and Binder, 2013).

De los resultados del criterio múltiple, cinco modelos (i.e. DERM, DREAM, PHED, RISKOFDERM, and PFAM) fueron seleccionados para ser aplicados en el caso de estudio de los sistemas de producción agrícola de la papa en la Vereda la Hoya, en la cordillera oriental de Colombia. Los datos utilizados como entradas, provienen de anteriores estudios realizados en el estudio de esta área con 197 pequeños productores de papa en cuatro comunidades (Feola

and Binder, 2010) y estudios de la exposición cutánea en la misma área (García-Santos *et al.*, 2011; Lesmes-Fabian *et al.*, 2012).

El análisis de múltiple criterio encontró que únicamente DERM, DREAM, PHED, RISKOFDERM y PFAM son factibles para ser aplicados en el caso de estudio de países en vías de desarrollo (tabla 1, figura 1) COSHH fue excluido de la evaluación, ya que no considera importante el grupo objetivo, pues se focalizó en pequeñas y medianas empresas pecuarias (SME's) ; Su sitio web cuenta con un manual de usuario disponible solo para algunas industrias específicas y sus resultados son producto de una evaluación cualitativa; No valora cuantitativamente el tipo de sustancias ni la exposición dérmica, únicamente evalúa el potencial de exposición; y de esto, no hace distinción entre ninguna parte del cuerpo. EASE fue también excluido de la evaluación por condiciones muy similares y porque solamente toma para estudio los brazos y antebrazos. STOFENMANAGER también fue excluido de la evaluación porque además de no cumplir con criterios como el grupo objetivo, en su sitio web disponible (2014) no muestra los algoritmos o cálculos del modelo y no tiene información disponible sobre las partes del cuerpo evaluadas.

Tabla 1: Descripción del modelo evaluado para la valoración de la exposición dérmica de acuerdo con el análisis de múltiple criterio.

CRITERIOS	MODELOS							
	COSHH	DERM	DREAM	EASE	PHED	RISKOF.	STOFFEN.	PFAM
Origen	Reino Unido	Nicaragua	Países Bajos	Reino Unido	Estados Unidos/Canadá	Europa	Países Bajos	Suiza
Año	2002	2008	2003	1994	2002	2003	2003	2013
Meta-objetivo	Valoración de riesgo de pequeñas y medianas empresas agrícolas	Valoración de riesgo en países en desarrollo	Valoración de riesgo de exposición ocupacional en cualquier situación.	Valoración de riesgo para la regulación de nuevos químicos	Estandarizado Estimación de la exposición.	Valoración de riesgo para regular y registrar procesos	Valoración de riesgo en pequeñas y medianas empresas agrícolas	Valoración de riesgo en países en vías de desarrollo.
Base	Niveles de exposición operacionales al evaluar la exposición y las frases-R de riesgo para la salud	Procesos de transporte, Schneider, 1999(Schneider <i>et al.</i> , 1999); DREAM, 2003 (Van-Wendel-De-Joode	Procesos de transporte, Schneider, 1999(Schneider <i>et al.</i> , 1999). Airborne concentrations (Cherrie, 1996)	Asistencia por computador en formato de árbol de decisión (Johnston <i>et al.</i> , 2005), Schneider, 1999(Sch	Información reportada en pesticidas y datos de monitoreo.	Schneider, 1999(Schneider <i>et al.</i> , 1999); COSHH (Garrod and Rajan-Sithamparadarajah, 2003).	Schneider, 1999(Schneider <i>et al.</i> , 1999); COSHH (Garrod and Rajan-Sithamparadarajah, 2003). Riskofderm(Oppel <i>et al.</i> , 2003)	Metología de análisis de flujo de materiales.

		<i>et al., 2003)</i>		<i>neider et al., 1999)</i>				
CRITERIOS		MODELOS						
		COSHH	DERM	DREAM	EASE	PHED	RISKOF.	STOFFEN.
Grupo objetivo	Pequeñas y medianas empresas agrícolas	Agricultores en países en desarrollo.	Procesos industriales y sistemas agrícolas.	Procesos industriales	Agencias regulatorias, industria pesticida.	Personal técnico operático en su mayor parte en pequeñas y medianas empresas agrícolas	Compañías Holandesas	Sistemas agrícolas en países en vías de desarrollo
Disponibilidad	Versión Magnética	Publicación	Publicación	Software disponible	Software y Publicación	Software y Publicación	Website	Publicación
Dirección	Website con guías para industrias específicas	Publicación	Publicación	No disponible	Publicación	Publicación	Website sin guías acerca de los algoritmos	Publicación
Conocimientos/Equipos requeridos	Sin experiencia específica requerida y la versión electrónica disponible	Habilidades matemáticas básicas y fáciles de llevar acabo en el campo.	Habilidades matemáticas básicas y fáciles de llevar acabo en el campo.	Conocimiento del modelo y programación.	Conocimiento de los criterios y sus efectos en la exposición. Computador requerido	Conocimiento del modelo y computador requerido	Acceso a Internet requerido	Habilidades matemáticas
Confiabilidad	Evaluated por la autoridad NIOSH	No Valido	Buena concordancia entre observadores	Distribuido entre 200 usuarios en Estados Unidos, Europa, Asia y Australia.	Evaluated y aprobado por EPA	Desarrollado por 15 institutos europeos basados en una larga base de datos	Ampliamente usado en Países Bajos.	Gran concordancia con el esquema de dispersión, pero aún no ha sido validada
Resultados	Semi-Cuantitativos (Bandas)	Semi-Cuantitativos	Semi-Cuantitativos	Cuantificable el grado de exposición.	Semi-Cuantitativos	Cuantitativos	Clasificación de los riesgos en las bandas	Cuantitativo

Tipos de Substancias evaluadas	Productos químicos excepto pesticidas	Pesticidas	Metales, fluidos y pesticidas	Substancias puras, no mezclas	Pesticida	Substancias puras incluyendo pesticidas	Substancias puras y mezclas	Pesticidas y otras sustancias
Vías de exposición dérmica evaluadas.	Deposición. Indirecta y contacto directo.	Transferencia, deposición y emisión	Transferencia, deposición y emisión	Emisiones a la superficie, aire, capas de ropa exterior y directamente a la piel	Sin información	Deposición y contacto directo	Exposición por inhalación (campo cercano y lejano). Total exposición dérmica	Transferencia, deposición y emisión
Descriptor de la exposición dérmica	Potencial de exposición.	Potencial y actual exposición.	Potencial y actual exposición.	Potencial de exposición	Potencial y actual exposición.	Potencial y actual exposición.	Potencial y actual exposición.	Potencial y actual exposición.
Partes del cuerpo evaluadas	Sin información disponible.	Frente y parte trasera del cuello, tórax, brazos, antebrazos, manos, muslos, piernas, pies, la frente y el lado izquierdo y derecho de la cara	Cabeza, brazos y antebrazos, manos, torso frontal, posterior, superior de las piernas, las piernas y los pies	Brazos y antebrazos	Cabeza, la cara, el cuello hacia atrás y delante, el pecho / de estómago, espalda, brazos, antebrazos, manos, muslos, piernas, pies.	Manos, brazos, cabeza, frente y parte posterior de las piernas, delante y detrás del torso	Sin información disponible	Los brazos, antebrazos, pecho, abdomen, espalda, piernas, muslos y manos.
Referencia	(Garrod and Rajan-Sithamparanadarajah, 2003)	(Blanco <i>et al.</i> , 2008)	(Van-Wendel-De-Joode <i>et al.</i> , 2003)	(Cherrie <i>et al.</i> , 2003)	(Dosemeci <i>et al.</i> , 2002)	(Oppl <i>et al.</i> , 2003)	(Tielemans <i>et al.</i> , 2008)	(Lesmes-Fabian and Binder, 2013)

DERM, DREAM, PHED, RISKOFDERM, Y PFAM fueron aplicados en el caso de estudio de la vereda La Hoya, en los cuales el manejo de los pesticidas es realizado con aspersores manuales. Si bien la evaluación de los modelos de exposición dérmica da una idea del nivel de exposición, sus resultados difieren (Tabla 2). Mediciones directas anteriores en Vereda La Hoya encontraron que la exposición dérmica a pesticidas es muy alta (García-Santos et al., 2011; Lesmes-Fabian et al., 2012) debido a la inadecuada vestimenta de trabajo, la modificación de las boquillas para incrementar el desempeño, la hora de aplicación, la limpieza inapropiada de los implementos de trabajo, la aplicación de pesticidas en contra de la dirección

del viento y el uso de pesticidas con un alto nivel de toxicidad. Por lo tanto de la comparación de las estimaciones, los modelos, DERM, DREAM, y PFAM fueron hallados como los modelos más apropiados. PHED podría dar una estimación inexacta porque los determinantes del modelo son relevantes únicamente para sistemas de agricultura en países industrializados donde tractores u otro equipo sofisticado es más usado, y además, porque el modelo no evalúa procesos como la emisión y transferencia de pesticidas. RISKOFDERM hace una estimación que también podría ser inexacta debido a que el modelo sólo divide en dos partes el cuerpo: las manos y el resto del cuerpo y una investigación anterior ha encontrado diferencias en la exposición en todas las partes del cuerpo (Lesmes-Fabian et al., 2012).

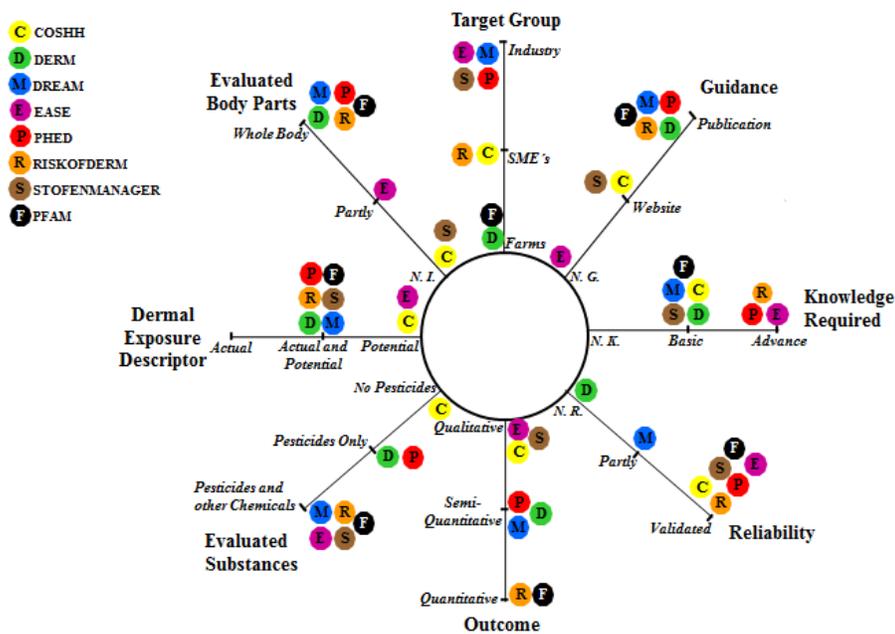


Fig. 1: Diagrama de radar con el análisis con criterio múltiple para los modelos de valoración de exposición dérmica.

Tabla 2: Actuales valoraciones de exposición dérmica con los modelos seleccionados en el área de estudio*.

Modelo	Puntaje del Caso de Estudio	Rangos de modelo de puntuación		Unidad	Valoración Cualitativa
		Menor Valor	Mayor Valor		
DERM	44.28	0	> 150	Sin unidad	Moderado
DREAM	359.0	0	> 1000	Sin unidad	Muy Alta
PHED*	15.2	0.05	> 30	Sin unidad	Alta

PFAM	2.36 - 2.71	0	∞	mg/kg.por dia	Muy Alta
RISKOFDERM	0.65	0	> 30	mg/cm ² /h	Alta

*: Estimación realizada por el Metamidofos pesticida que es el plaguicida más tóxico utilizado en el área de estudio.

DERM es un modelo apropiado debido a la especificidad de los determinantes para casos de estudio en países en desarrollo; no obstante, la precisión de la estimación es menor puesto que en la valoración no son considerados determinantes importantes como lavar el equipo, duración de la tarea, el uso de guantes, la frecuencia y la sustitución de guantes, ropa de trabajo, la higiene personal y las condiciones climáticas. **DREAM** fue hallado como un modelo apropiado pues su estimación corrobora la valoración de la exposición dérmica realizada en el área; sin embargo, la precisión de la estimación debe ser mejorada si hay una diferenciación entre el factor de protección de acuerdo con las diferentes partes del cuerpo y otros factores determinantes son considerados como la condiciones climáticas vg la humedad o rapidez del viento. Si se incluyen estos determinantes que faltan, el alcance del modelo será más amplio no solamente en sistemas agrícolas en países desarrollados e industrializados sino para también otros procesos industriales. Finalmente, PFAM fue hallado para dar una evaluación cuantitativa en términos de exposición potencial y real y cómo la distribución de la exposición que se produce en las diferentes partes del cuerpo. En adición, puede evaluar la exposición actual y cómo ocurre la distribución de la exposición en las diferentes partes del cuerpo. En adición PFAM puede valorar el riesgo para cada pesticida separadamente. Sin embargo este necesita ser calibrado con mediciones antes de ser implementado en áreas de estudio con características semejantes o no. No obstante, este modelo tiene la ventaja de cumplir con todos los criterios requeridos para ser implementado en los estudios de caso en los países en desarrollo.

Este resultado es válido para los sistemas de producción agrícola de papa y muchas otras cosechas con características similares en diferentes regiones de América Latina y podría ser válido para otras regiones del mundo con aplicaciones similares de pesticidas, como sería Asia y África. Sin embargo, los resultados no son válidos para agricultura comercial y la aplicación sofisticada de pesticidas en cosechas en países en desarrollo tales como de flores, banana, café, caña de azúcar, arroz, etc.

1. References

- [1] Blanco, L.E., Aragón, A., Lundberg, I., Wesseling, C., Nise, G., 2008. The Determinants of Dermal Exposure Ranking Method (DERM): A pesticide exposure assessment approach for developing countries. *Annals of Occupational Hygiene* 52, 535-544.
- [2] Cherrie, J.W., 1996. A new method for structured , subjective assessment of past concentrations. *Occupational Hygiene*, 75-83.
- [3] Cherrie, J.W., Tickner, J., Friar, J., 2003. Evaluation and further development of the EASE model 2.0. . HSE Books., Sudbury, UK.
- [4] Dosemeci, M., Alavanja, M.C.R., Rowland, A.S., Mage, D., Hoar Zahm, S., Rothman, N., Lubin, J.H., Hoppin, J.A., Sandler, D.P., Blair, A., 2002. A quantitative approach for estimating exposure to pesticides in the agricultural health study. *Annals of Occupational Hygiene* 46, 245-260.
- [5] FAO, 2009. Food and agricultural commodities production. The statistics Division. Food and Agricultural Organization of hte United nations.
- [6] Fabian, C.L.; Binder, C.R. Dermal Exposure Assessment to Pesticides in Farming Systems in Developing Countries: Comparison of Models. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 4670-4696.
- [7] Feola, G., Binder, C.R., 2010. Why don't pesticide applicators protect themselves?: Exploring the use of personal protective equipment among Colombian smallholders. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 16, 11-23.
- [8] García-Santos, G., Scheiben, D., Binder, C.R., 2011. The weight method: A new screening method for estimating pesticide deposition from knapsack sprayers in developing countries. *Chemosphere* 82, 1571-1577.
- [9] Garrod, A.N.I., Rajan-Sithamparanadarajah, R., 2003. Developing COSHH Essentials: Dermal Exposure, Personal Protective Equipment and First Aid. *Annals of Occupational Hygiene* 47, 577-588.
- [10] gato, 345. eghyj. uryirtyrty.
- [11] Glass, C.R., Machera, K., 2009. Evaluating the risks of occupational pesticide exposure. *Hellenic Plant Protection Journal* 2, 1-9.
- [12] Johnston, K.L., Phillips, M.L., Esmen, N.A., Hall, T.A., 2005. Evaluation of an artificial intelligence program for estimating occupational exposures. *Annals of Occupational Hygiene* 49, 147-153.

- [13] Lesmes-Fabian, C., Binder, C., 2013. Pesticide Flow Analysis to Assess Human Exposure in Greenhouse Flower Production in Colombia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10, 1168-1185.
- [14] Lesmes-Fabian, C., Garcia-Santos, G., Leuenberger, F., Nuyttens, D., Binder, C.R., 2012. Dermal Exposure Assessment of Pesticide Use: The Case of Sprayers in Potato Farms in the Colombian Highlands. *Science of the Total Environment* 430 (2012), 2002-2008.
- [15] M.A.D.R., 2009. Oferta Agropecuaria. In: Encuesta Nacional Agropecuaria - Cifras 2009 (Ed.). Corporación Colombia Internacional, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá, Colombia.
- [16] Marquart, H., Heussen, H., Le Feber, M., Noy, D., Tielemans, E., Schinkel, J., West, J., Van Der Schaaf, D., 2008. 'Stoffenmanager', a Web-Based Control Banding Tool Using an Exposure Process Model. *Ann Occup Hyg* 52, 429-441.
- [17] Oppl, R., Kalberlah, F., Evans, P.G., Van Hemmen, J.J., 2003. A Toolkit for Dermal Risk Assessment and Management: An Overview. *Annals of Occupational Hygiene* 47, 629-640.
- [18] Ospina JM, Manrique-Abril FG, Ariza NE. 2009. Intervención Educativa sobre los Conocimientos y Practicas Referidas a los Riesgos Laborales en Cultivadores de Papa en Boyacá, Colombia. *Revista de Salud Pública* 11(2): 182–190.
- [19] Schneider, T., Vermeulen, R., Brouwer, D.H., Cherrie, J.W., Kromhout, H., Fogh, C.L., 1999. Conceptual model for assessment of dermal exposure. *Occupational and Environmental Medicine* 56, 765-773.
- [20] Tielemans, E., Noy, D., Schinkel, J., Heussen, H., Van Der Schaaf, D., West, J., Fransman, W., 2008. Stoffenmanager exposure model: Development of a quantitative algorithm. *Annals of Occupational Hygiene* 52, 443-454.
- [21] Van-Wendel-De-Joode, B., Brouwer, D.H., Vermeulen, R., Van Hemmen, J.J., Heederik, D., Kromhout, H., 2003. DREAM: A Method for Semi-quantitative Dermal Exposure Assessment. *Ann Occup Hyg* 47, 71-87.
- [22] Van Hemmen, J.J., Auffarth, J., Evans, P.G., Rajan-Sithamparamadarajah, B., Marquart, H., Oppl, R., 2003. RISKOFDERM: Risk Assessment of Occupational Dermal Exposure to Chemicals. An Introduction to a Series of Papers on the Development of a Toolkit. *Annals of Occupational Hygiene* 47, 595-598.