

Límites de la modelización matemática del riesgo: el caso de la inhalación de hidrocarburos en espacio cerrado

Daniel Collasius
Septiembre de 2008

Marco general

- *Riesgo ambiental = RBCA*
 - *ASTM E 1739-95 Standard Guide for Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (RBCA).*
- Porque utilizarlo?
 - En Argentina, los standares de calidad de suelo y agua subterránea presentan limitaciones para el análisis de riesgo
 - Suelo: no cubren todos los escenarios de exposición.
 - Agua Subterránea: Solo existen para el escenario de ingesta
 - Fortalezas
 - Método controlable.
 - Cubre vacíos legales
 - Debilidades
 - Institucionales
 - Metodológicas
 - Incertidumbre
 - Riesgo aceptado

Análisis de Riesgo Ambiental según RBCA

ASTM E 1739-95 Standard Guide for Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (RBCA):

proceso

técnico administrativo

para definir

niveles de contaminación

aceptables.

- Tier 1
 - Concentración de Cdl que puede permanecer sin constituir un riesgo para la salud humana.
 - Valores de referencia *genéricos*.
 - RBSL Tabulados
- Tier 2 y 3
 - Concentración de Cdl que pueden permanecer sin constituir un riesgo para la salud humana.
 - Valores de referencia *específicos*
 - SSTL calculados

Análisis de Riesgo Ambiental según RBCA

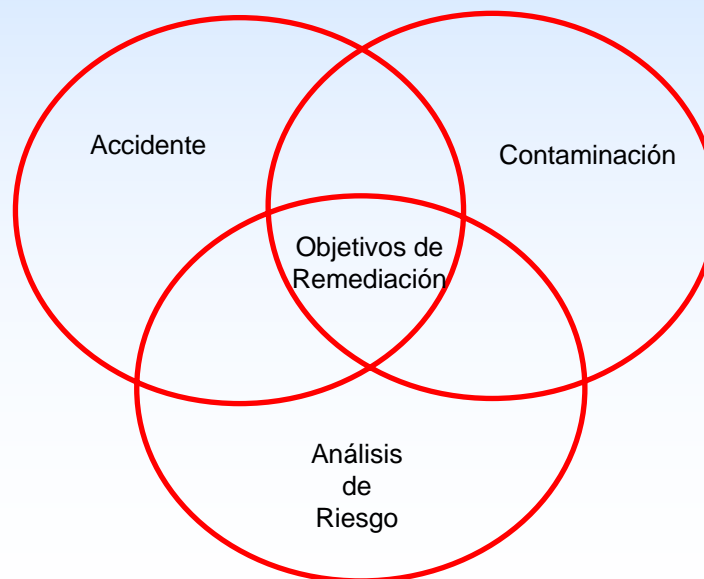
- La situación actual es riesgosa?

$$R = \frac{\text{Concentración} \times \text{TasaContacto} \times \text{Frecuencia} \times \text{Duración} \times SF}{\text{Peso} \times \text{Tiempo}}$$

- Cual es la situación no riesgosa?

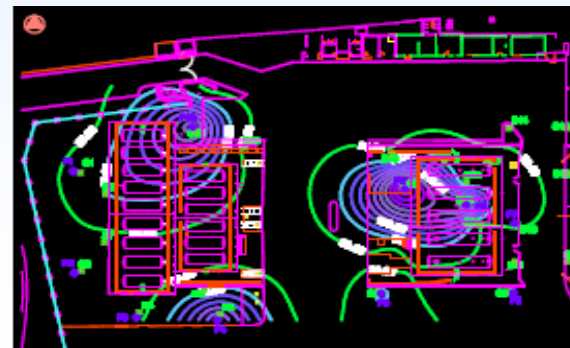
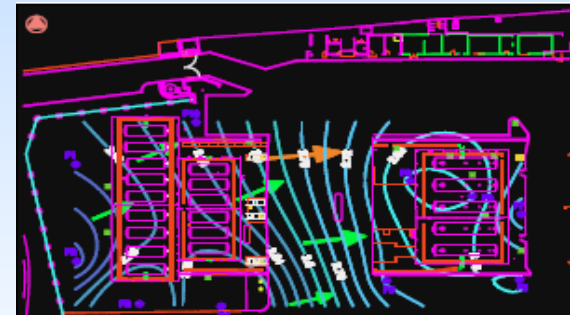
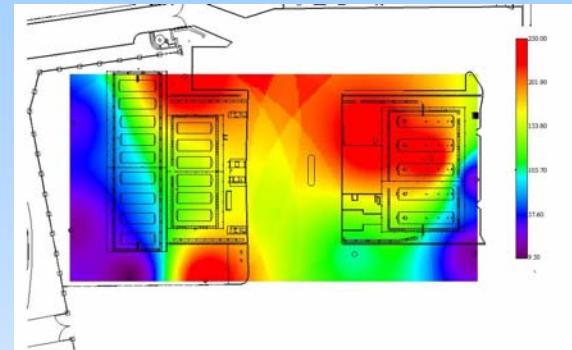
$$\text{Concentracion} = \frac{\text{Riesgo} \times \text{Peso} \times \text{Tiempo}}{\text{TasaContacto} \times \text{Frecuencia} \times \text{Duracion} \times SF}$$

- Para la norma RBCA
 - Cero exposición, cero riesgo
 - Limpio = sin riesgo a la salud humana
 - Ambiental = salud humana

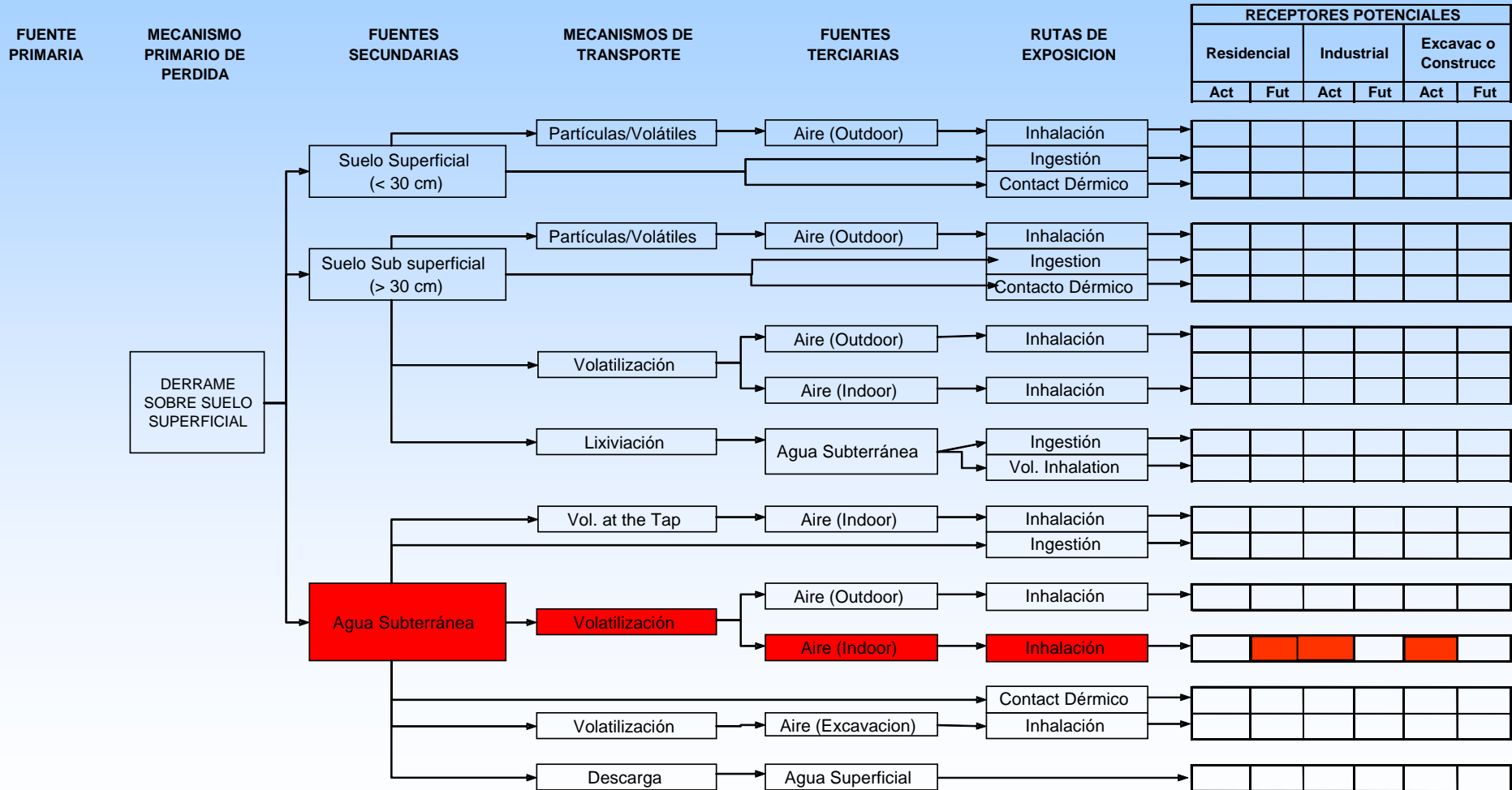


Para un RBCA se asume ...

- Estudio de caracterización adecuado
 - Representatividad de los puntos de muestreo
 - Distribución
 - Construcción
 - Representatividad de las muestras
 - Control de Calidad
 - Suelo
 - Gases ocluidos
 - Agua subterránea
 - Custodia en Cadena
- Definición de Compuestos de Interés adecuado
 - Antecedentes del sitio
 - Técnicas analíticas adecuadas
 - Límites de detección/cuantificación
 - Niveles de incertidumbre



..para definir exposición



Porqué la intrusión de vapores es importante?

- Típica exposición a hidrocarburos en áreas urbanas.
- Mucho menor experiencia que con otros escenarios de exposición.
 - Modelizaciones complejas
 - Mediciones indirectas
 - Dificultades de mediciones directas
 - Caminos preferenciales
 - Fracturas, macroporos, conductos, etc.
- No ofrece opciones.
- Las acciones correctivas son distintas.

RBSL para inhalación en espacio cerrado de compuestos cancerígenos volatizados desde el agua subterránea

$$RBSL_{air} = \frac{TR \times BW \times AT_c \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 10^3 \frac{\mu\text{g}}{\text{mg}}}{SF_i \times IR_{air} \times EF \times ED}$$

$$RBSL_{asubt} = \frac{RBSL_{aireint}}{FV_{asubtaireint}} \times 10^{-3} \frac{\text{mg}}{\mu\text{g}}$$

$$FV_{wesp} \frac{\text{mg} / \text{m}^3}{\text{mg} / \text{L}} = \frac{H \left[\frac{D_{ws}^{eff}}{L_{gw}} \right]}{1 + \left[\frac{D_{ws}^{eff}}{L_{gw}} \right] + \left[\frac{D_{ws}^{eff}}{L_{gw}} \right] \left(\frac{D_{crack}^{eff}}{L_{crack}} \right) \eta} \times 10^3 \text{L} / \text{m}^3$$

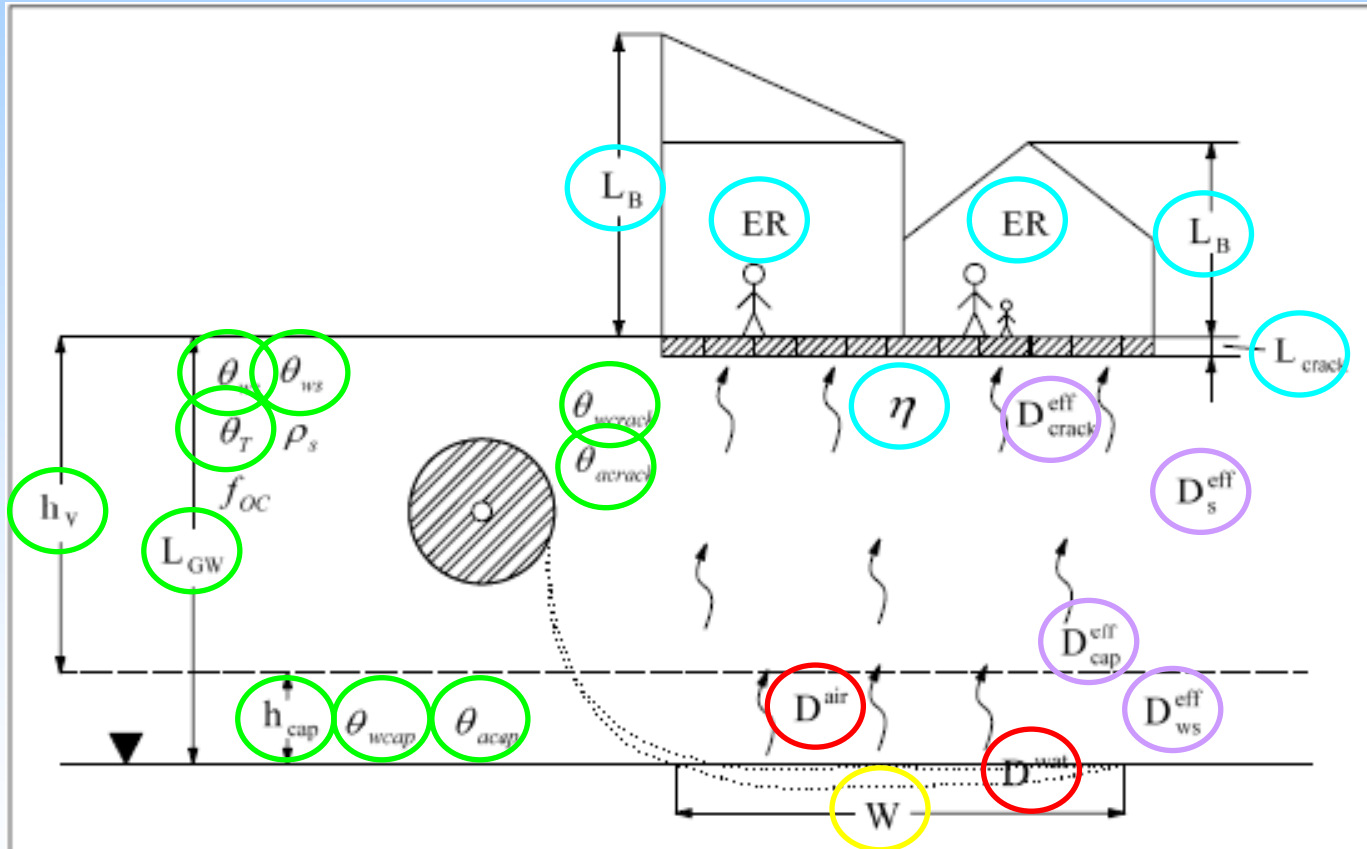
$$D_{ws}^{eff} = (h_{cap} + h_v) \left[\frac{h_{cap}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}} \right]^{-1}$$

$$D_s^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_T^2}$$

$$D_{cap}^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{acap}^{3.33}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{wcap}^{3.33}}{\theta_T^2}$$

$$D_{crack}^{eff} = D^{air} \frac{\theta_{acrack}^{3.33}}{\theta_T^2} + D^{wat} \frac{1}{H} \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{\theta_T^2}$$

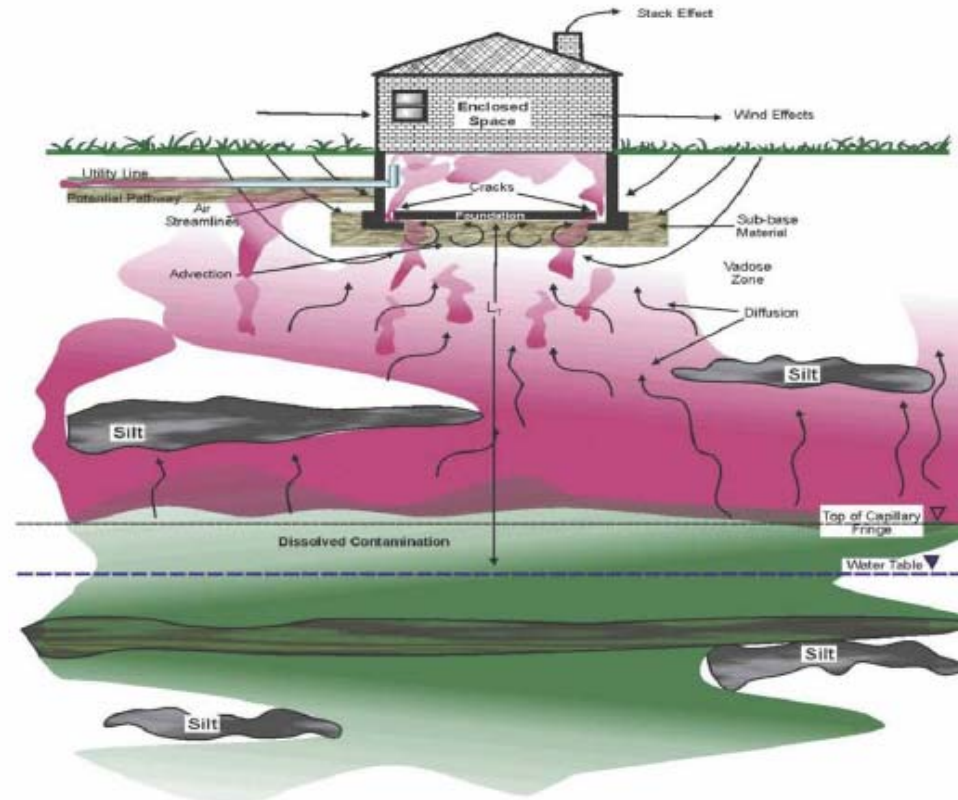
Parámetros RBSL *iecas*



- Específicos del compuesto ○
- Características físico naturales ○
- Características edilicias ○
- Coefficientes difusivos ○
- Geometría de la contaminación ○

Modelo de transporte de J&E

- ASTM se basa en los trabajos de Johnson y Ettinger de 1991.
- El modelo de J&E es una solución unidimensional al transporte difusivo y convectivo de vapores que se expresa como un factor de atenuación que relaciona la concentración de vapor en el espacio interior con la concentración de vapor en la fuente.



Ecuaciones del modelo de J&E

$$\alpha = \frac{C_B}{C_s}$$

$$A = \frac{D_T^{\text{eff}} A_B}{Q_B L_T}$$

$$\alpha = \frac{A \exp(B)}{\exp(B) + A + \frac{A}{C} [\exp(B) - 1]}$$

$$C = \frac{Q_s}{Q_B}$$

$$B = \frac{Q_s L_C}{D_C^{\text{eff}} N A_B}$$

$$N = \frac{4 W_C \sqrt{A_B}}{A_B}$$

$$D_T^{\text{eff}} = D_A \frac{\theta_A^{3\frac{1}{3}}}{\eta^2} + \frac{D_W}{H} \frac{\theta_W^{3\frac{1}{3}}}{\eta^2}$$

Críticas al modelo J&E

- JEM es utilizado con pocas calibraciones o datos específicos del sitio
- Incertidumbres asociadas con el modelo
 - Modelo
 - La base conceptual del modelo es adecuada para las condiciones del sitio?
 - Parámetros
 - Los valores de los parámetros representan el sitio de forma adecuada?
 - Análisis de incertidumbre
 - » <http://www.epa.gov/athens/onsite>

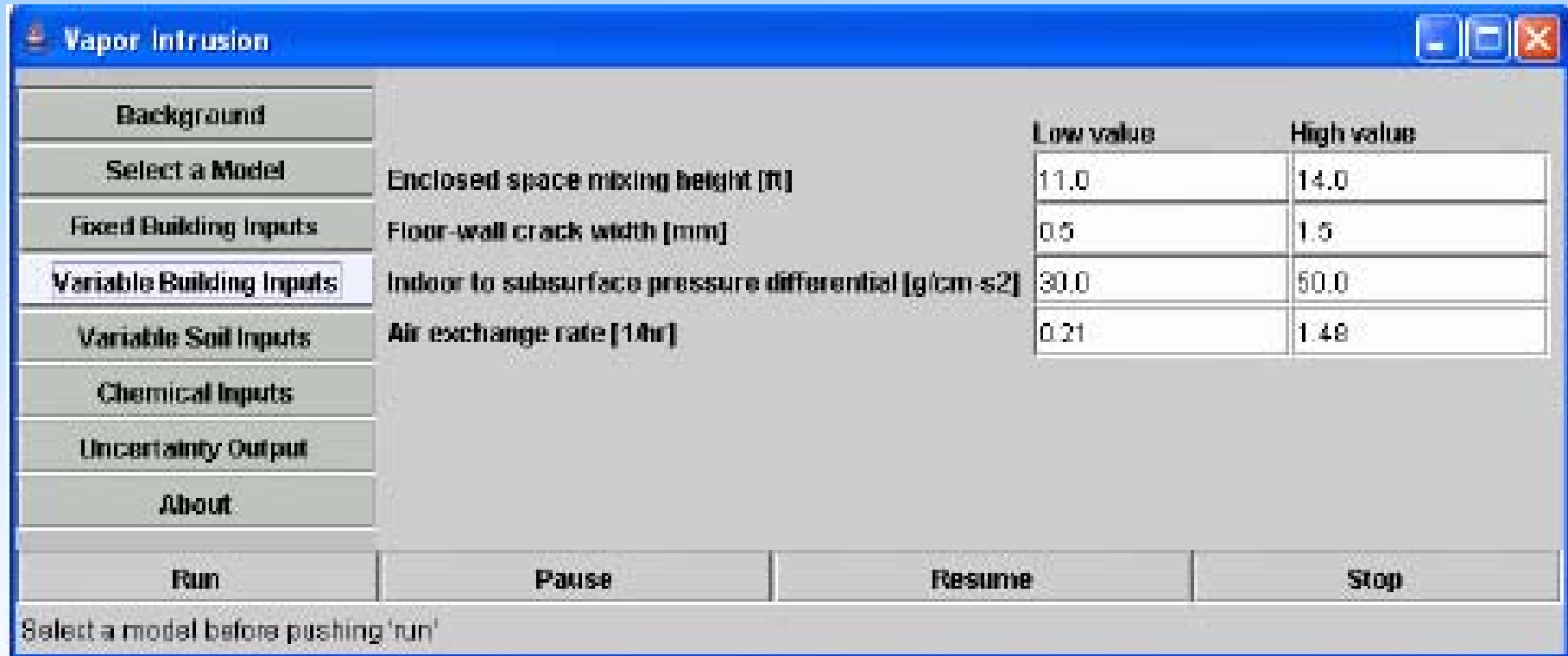
Parámetros del edificio

The screenshot shows a software window titled "Vapor Intrusion" with a sidebar on the left containing menu items: Background, Select a Model, Fixed Building Inputs (highlighted), Variable Building Inputs, Variable Soil Inputs, Chemical Inputs, Uncertainty Output, and About. The main area displays four input fields with the following values:

Parameter	Value
Building Width [ft]	32.8084
Building Length [ft]	32.8084
Foundation Thickness [ft]	0.5
Depth below grade to bottom of foundation [ft]	6.5817

At the bottom of the window, there are four buttons: Run, Pause, Resume, and Stop. A status bar at the very bottom contains the text: "Select a model before pushing 'run'"

Parámetros del edificio



The screenshot shows a software window titled "Vapor Intrusion" with a sidebar on the left containing menu items: Background, Select a Model, Fixed Building Inputs, Variable Building Inputs (highlighted), Variable Soil Inputs, Chemical Inputs, Uncertainty Output, and About. The main area displays a table of parameters with columns for "Low value" and "High value".

	Low value	High value
Enclosed space mixing height [m]	11.0	14.0
Floor-wall crack width [mm]	0.5	1.5
Indoor to subsurface pressure differential [g/cm-s ²]	30.0	50.0
Air exchange rate [1/hr]	0.21	1.48

At the bottom of the window, there are four buttons: Run, Pause, Resume, and Stop. A status bar at the very bottom contains the text: "Select a model before pushing 'run'"

Parámetros de suelo

Vapor Intrusion

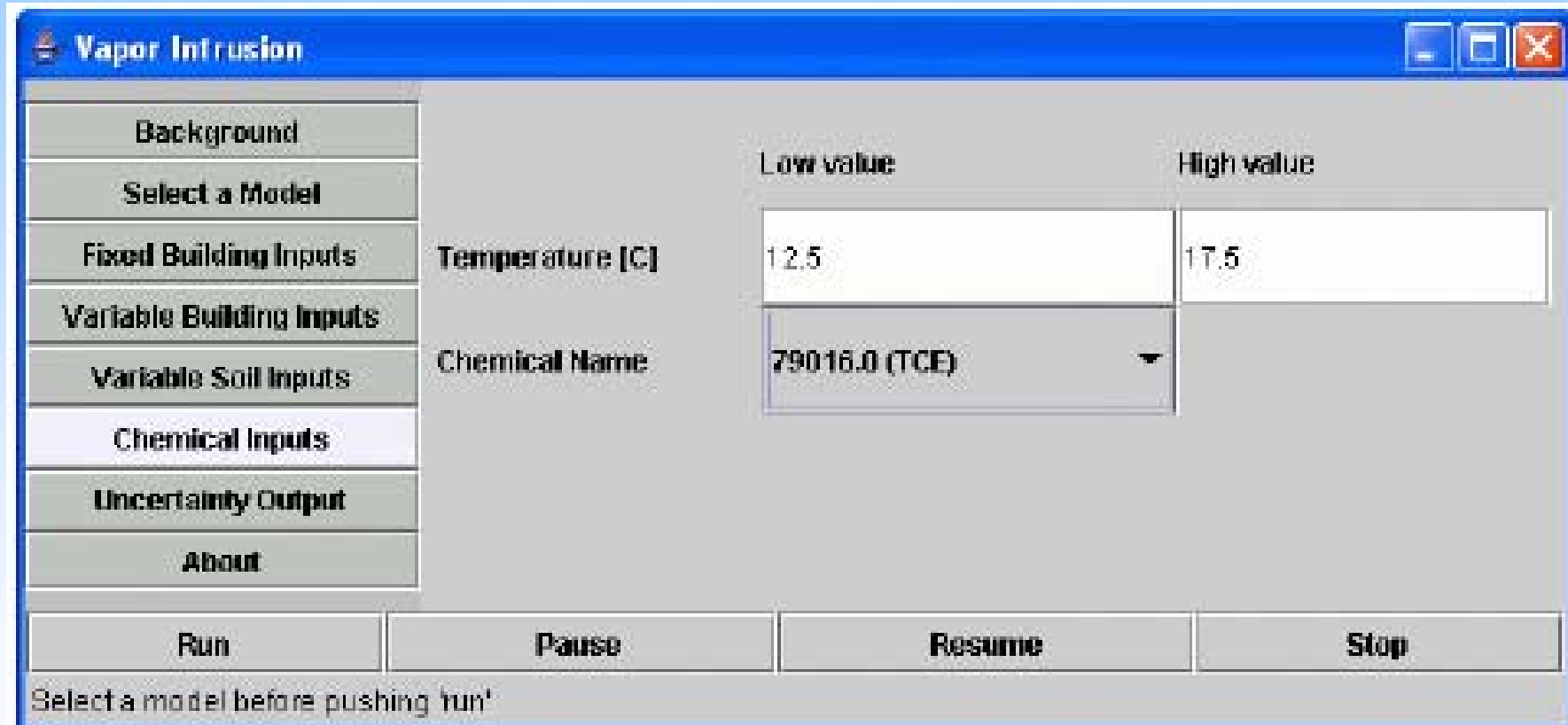
	High and Low values per Layer (L)	Low	High
Hydraulic Conductivity [cm/s]		1.0E-4	1.6E-4
Thickness [ft]		15.0	17.5
Soil Porosity		0.35	0.4
Soil Residual Moisture Content		0.1	0.15
Water Saturation (% of pore space)		30.0	40.0
van Genuchten m		0.15	0.2
Mean Particle Diameter [cm]		0.02	0.03
Use capillary fringe?		Do not	▼
Calculate soil gas flow rate?		Do not	▼
(Optional) Soil gas flow rate [L/min]		1.0	10.0

Background
Select a Model
Fixed Building Inputs
Variable Building Inputs
Variable Soil Inputs
Chemical Inputs
Uncertainty Output
About

Run Pause Resume Stop

Select a model before pushing 'run'

Parámetros del Compuesto de Interés



The screenshot shows the 'Vapor Intrusion' software interface. On the left is a vertical menu with options: Background, Select a Model, Fixed Building Inputs, Variable Building Inputs, Variable Soil Inputs, Chemical Inputs (highlighted), Uncertainty Output, and About. The main area contains input fields for 'Temperature [C]' (Low value: 12.5, High value: 17.5) and 'Chemical Name' (79016.0 (TCE)). At the bottom are 'Run', 'Pause', 'Resume', and 'Stop' buttons. A status bar at the bottom left reads 'Select a model before pushing run!'.

	Low value	High value
Temperature [C]	12.5	17.5
Chemical Name	79016.0 (TCE)	

Run Pause Resume Stop

Select a model before pushing run!

Salidas

The screenshot shows the 'Vapor Intrusion' software window. The interface includes a sidebar with menu items: Background, Select a Model, Fixed Building Inputs, Variable Building Inputs, Variable Soil Inputs, Chemical Inputs, Uncertainty Output (highlighted), and About. The main area displays 'Simulations Completed' as 4096. Below this is a table of results for various parameters: Alpha, A, B, and C. The table has 8 rows of data. At the bottom, there are 'Run', 'Pause', 'Resume', and 'Stop' buttons. A status bar at the bottom left indicates 'Model has completed.'

	Alpha	A	B	C
Smallest Alpha	1.59E-5	1.909E-5	2047.0	9.501E-5
Largest Alpha	9.081E-4	0.001090	1390.0	0.008522
Smallest A	1.59E-5	1.909E-5	2047.0	9.501E-5
Largest A	9.081E-4	0.001090	1390.0	0.008522
Smallest B	4.782E-4	0.001090	139.0	8.522E-4
Largest B	1.071E-5	1.909E-5	20470.0	9.501E-4
Smallest C	4.527E-5	9.648E-5	585.8	9.501E-5
Largest C	2.684E-4	2.75E-4	4249.0	0.008522

Datos para la simulación

Fixed Parameter	Value
Building Width	32 ft
Building Length	32 ft
Foundation Thickness	0.32 ft
Depth to Contamination	6.15 ft
Chemical	trichloroethene

Risk Parameter	Value
Averaging Time, AT	70 yr
Inhalation Unit Risk Factor, URF	$0.00011 (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
Exposure Frequency, EF	350 d/yr
Exposure Duration, ED	30 yr
Source Concentration	$34.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Parameter	Variability Source	Values		
		Low	OSWER default	High
Mixing height [ft]	OSWER range	8	12	16
Floor-wall crack width [mm]	OSWER range	0.5	1	5
Air exchange rate [hr^{-1}]	OSWER range	0.1	0.25	1.5
Depth below grade [ft]	+/- 25%	22.1	29.5	36.9
Porosity	+/- 25%	0.29	0.387	0.484
Residual moisture content	+/- 25%	0.029	0.039	0.049
Moisture content	OSWER range	0.039	0.103	0.17
Soil gas flow rate [L/min]	OSWER range	1	5	10
Temperature [C]	+/- 25%	11.25	15.0	18.75

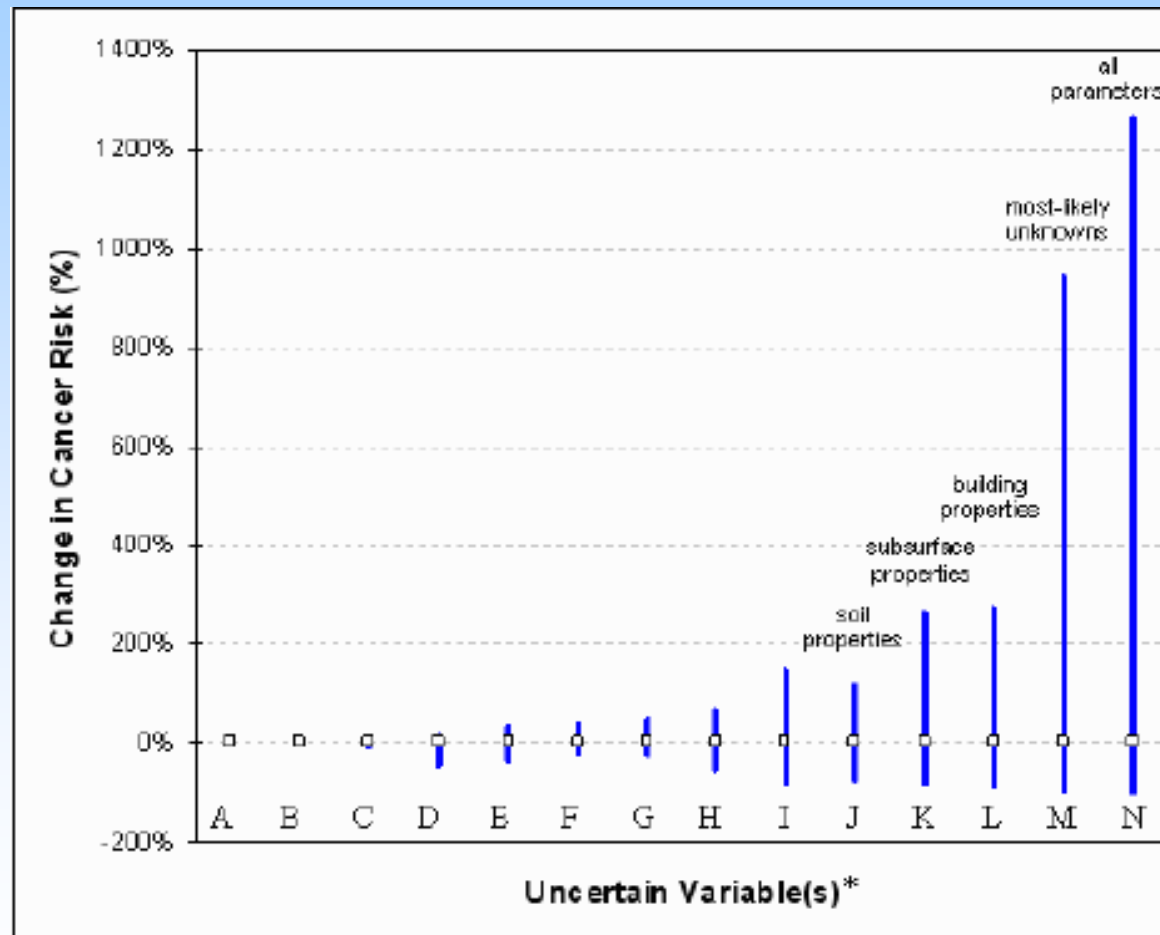
Análisis de incertidumbre para parámetros individuales

Code	Parameter Groups	Parameters	Change in Risk Given Uncertainty in Results	
			Decreased Risk	Increased Risk
A	Single	Floor-Wall Crack Width	0.0%	0.0%
B	Single	Temperature	0.0%	0.0%
C	Single	Soil Residual Water Content	-7.6%	7.8%
D	Single	Soil Gas Flow Rate	-44.1%	11.0%
E	Single	Porosity	-34.9%	33.1%
F	Single	Sample Depth	-20.5%	34.7%
G	Single	Mixing Height	-25.0%	50.1%
H	Single	Water Content	-53.8%	65.2%
I	Single	Air Exchange Rate	-83.3%	150.0%

Análisis de incertidumbre para parámetros agrupados

Code	Parameter Groups	Parameters	Change in Risk Given Uncertainty in Results	
			Decreased Risk	Increased Risk
J	Soil Properties	Porosity Residual Water Content Water Content	-74.7%	117.9%
K	Subsurface Properties	Sample Depth Porosity Residual Water Content Water Content Soil Gas Flow Rate	-83.2%	262.3%
L	Building Properties	Mixing Height Floor-Wall Crack Width Air Exchange Rate	-87.5%	274.9
M	Least-known Parameters	Mixing Height Floor-Wall Crack Width Air Exchange Rate Porosity Residual Water Content Water Content Soil Gas Flow Rate	-97.4%	941.6%
N	All Parameters	Building Mixing Height Floor-Wall Crack Width Air Exchange Rate Sample Depth Porosity Residual Water Content Water Content Soil Gas Flow Rate Temperature	-97.9%	1258.4%

Incertidumbre individual y agrupada



Lecciones generales

ASTM E 1739-95 Standard Guide for Risk Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites (RBCA):

proceso

técnico administrativo

para definir

niveles de contaminación

aceptables.

- Los RBSL pueden ser tan conservadores como se quiera, siempre que sean parte de un proceso cada vez más específico.
- Los software de Análisis de Riesgo deben ser cuidadosamente utilizados, en particular cuando se trata de modelos de transporte.

Lecciones específicas

- Principales Críticas al modelo J&E
 - Sobreestima concentraciones de compuestos degradables.
- Condiciones que dificultan la aplicación del modelo de J&E
 - Presencia de FLNA
 - Presencia de materiales geológicos complejos (más de tres unidades), fracturados, con macroporos o con otros caminos preferenciales de vapores.
 - Sitios con marcados flujos laterales de vapores (capas geológicas, por ejemplo)
 - Agua subterránea poco profunda que humedece los cimientos
 - Edificios con otros pisos que no sean de cemento
 - Franja capilar contaminada
 - La parte superior de la franja capilar no está en contacto con el piso del edificio
- El modo de reducir las incertidumbres asociadas es
 - Datos de campo
 - Control por fuente de incertidumbres, e.g. ER

Gracias