



## **Estudio de Caso:**

# **Evaluación y Manejo del Riesgo por DNT en Electrorrobótica**

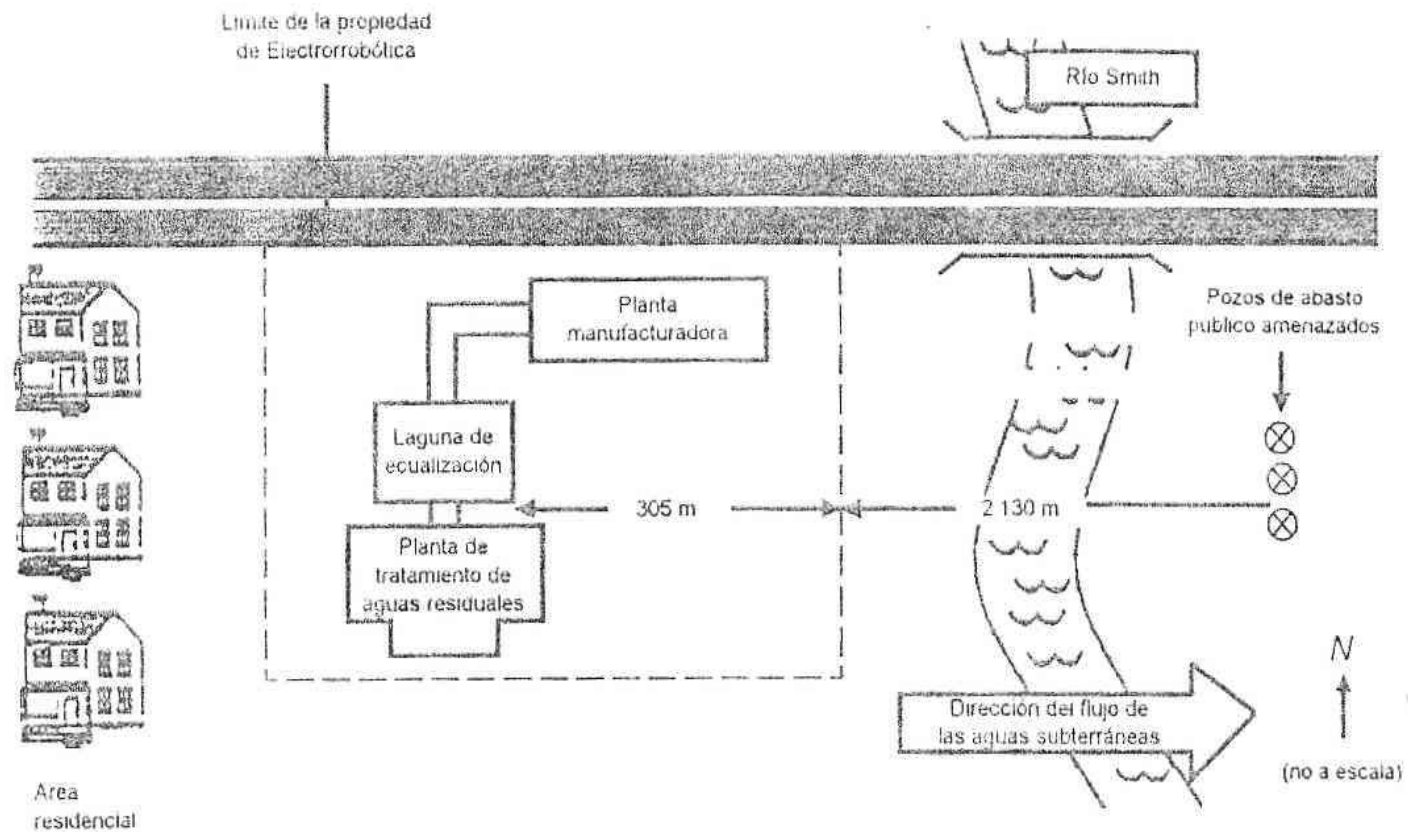
Braulio Brunaud Sánchez

Paola Domínguez Zambrano



# **Presentación del Caso**

# El Problema



Empresa Electrorrobótica cambia proceso productivo e incluye DNT



# Objetivo

- 1. Evaluar los antecedentes disponibles sobre riesgo asociado a DNT***
- 2. Decidir se otorga un permiso a la empresa***
- 3. Indicar acciones correctivas en la fábrica***



# Metodología

## I. Evaluación de Riesgos

- 1) Antecedentes sobre DNT
- 2) Evaluación del Peligro
- 3) Evaluación de la Dosis-Respuesta
- 4) Evaluación de la Exposición Humana
- 5) Caracterización del Riesgo



# Objetivos

## ***I. Manejo de Riesgos***

***1) Antecedentes de las normas***

***2) Opciones***

***3) Conclusiones***



# Parte I: Evaluación de Riesgos



# I. Evaluación de Riesgos

- 1) Antecedentes sobre DNT
- 2) Evaluación del Peligro
- 3) Evaluación de la Dosis-Respuesta
- 4) Evaluación de la Exposición Humana
- 5) Caracterización del Riesgo





# Antecedentes sobre DNT

- Disolvente usado para desengrasar
- Líquido, moderadamente volátil
- Se degrada en ambiente acuoso
- Moderadamente soluble en agua
- Presenta pequeñas cantidades de impureza: trinitrotelamética



# I. Evaluación de Riesgos

- 1) Antecedentes sobre DNT
- 2) Evaluación del Peligro
- 3) Evaluación de la Dosis-Respuesta
- 4) Evaluación de la Exposición Humana
- 5) Caracterización del Riesgo

# Evaluación del Peligro

## ■ Principios:

- ☐ objetivo >> identificar efectos adversos a la salud
- ☐ efectos tóxicos sistémicos y cancerígenos
- ☐ no siempre existen estudios epidemiológicos en humanos
- ☐ carcinógenos humanos => carcinógeno en animal
- ☐ distintas respuestas en distintas especies
- ☐ distintos sitios de formación de tumores
- ☐ distintas ADMEs en distintas especies



# Evaluación del Peligro

## ■ Toxicidad de DNT

- Estudio de Frankenstein(1985): DNT aumentó la incidencia de tumores en ciertos grupos de animales.
- Información Epidemiológica: Empresas fabricantes de DNT no encontraron evidencia estadísticamente significativa para concluir que el DNT produce cáncer en sus trabajadores.

# Evaluación del Peligro

ILUSTRACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE LA EVIDENCIA BASADA EN DATOS ANIMALES Y HUMANOS

Evidencia Humana \ Evidencia Animal	Suficiente	Limitada	Inadecuada	Sin Información	No hay Evidencia
	Suficiente	Limitada	Inadecuada	Sin Información	No hay Evidencia
Suficiente	A	A	A	A	A
Limitada	B1	B1	B1	B1	B1
Inadecuada	B2	C	D	D	D
Sin información	B2	C	D	D	E
No hay evidencia	B2	C	D	D	E

- Grupo A: Carcinogénico Humano
- Grupo B: Carcinogénico Humano Probable
  - Grupo C: Carcinogénico Humano Posible
- Grupo D: No clasificable en cuanto a carcinogenicidad humana
- Grupo E: No hay evidencia de que no sea un carcinogénico Humano



# Evaluación del Peligro

- Toxicidad Sistémica

- Estudio de Shakespeare(1978): El DNT causa efecto patológico crítico al hígado



# I. Evaluación de Riesgos

- 1) Antecedentes sobre DNT
- 2) Evaluación del Peligro
- 3) Evaluación de la Dosis-Respuesta
- 4) Evaluación de la Exposición Humana
- 5) Caracterización del Riesgo

# Evaluación Dosis-Respuesta

## ■ Carcinogenicidad

### □ Modelo de límite superior

1. Extrapolación de desde altas a bajas exposiciones
2. Extrapolación entre especies(factor de escala)

Se supone que roedores y humanos tienen el mismo riesgo a una misma exposición medido en  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$



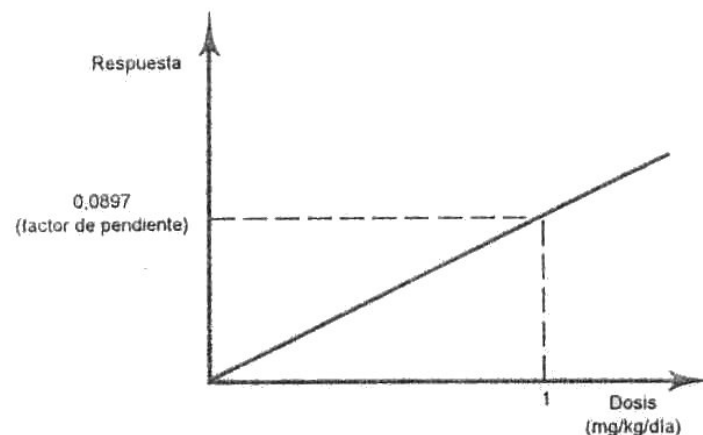
# Evaluación Dosis-Respuesta

ESTIMACIONES (LÍMITE SUPERIOR) DE FACTORES  
DE PENDIENTE PARA TODA LA VIDA PRONOSTICADOS AL APLICAR LOS MODELOS  
PREFERIDOS POR LA EPA A LOS DATOS DE TUMORES POR DNT<sup>1</sup>

(Basados en el Cuadro 2)

Especies, Sexo	Vía de Exposición	Sitio del Tumor	Factor de Pendiente (potencia)
Rata, macho	Inhalación	Pulmón	0,0188 ( $1,88 \times 10^{-2}$ )
Rata, macho	Inhalación	Bazo	0,0126 ( $1,26 \times 10^{-2}$ )
Rata, macho	Inhalación	Hígado	0,0188 ( $1,88 \times 10^{-2}$ )
Rata, macho	Sonda gástrica	Estómago	0,0054 ( $5,4 \times 10^{-3}$ )
Rata, hembra	Sonda gástrica	Estómago	0,0054 ( $5,4 \times 10^{-3}$ )
Rata, macho	Sonda gástrica	Hígado	0,0120 ( $1,2 \times 10^{-2}$ )
Rata, macho	Sonda gástrica	Bazo	0,0228 ( $2,28 \times 10^{-2}$ )
Ratón, macho	Sonda gástrica	Hígado	0,0897 ( $8,97 \times 10^{-2}$ )
Ratón, macho	Sonda gástrica	Estómago	0,0096 ( $9,6 \times 10^{-3}$ )

Relación dosis-respuesta para el DNT<sup>1</sup>



# Evaluación Dosis-Respuesta

- Toxicidad Sistémica

- Dosis de Referencia

$$DRf = \frac{NOAEL}{FI \cdot FP}$$

- Margen de Exposición

$$MdE = \frac{NOAEL \text{ para el Efecto Crítico}}{Dosis Humana}$$

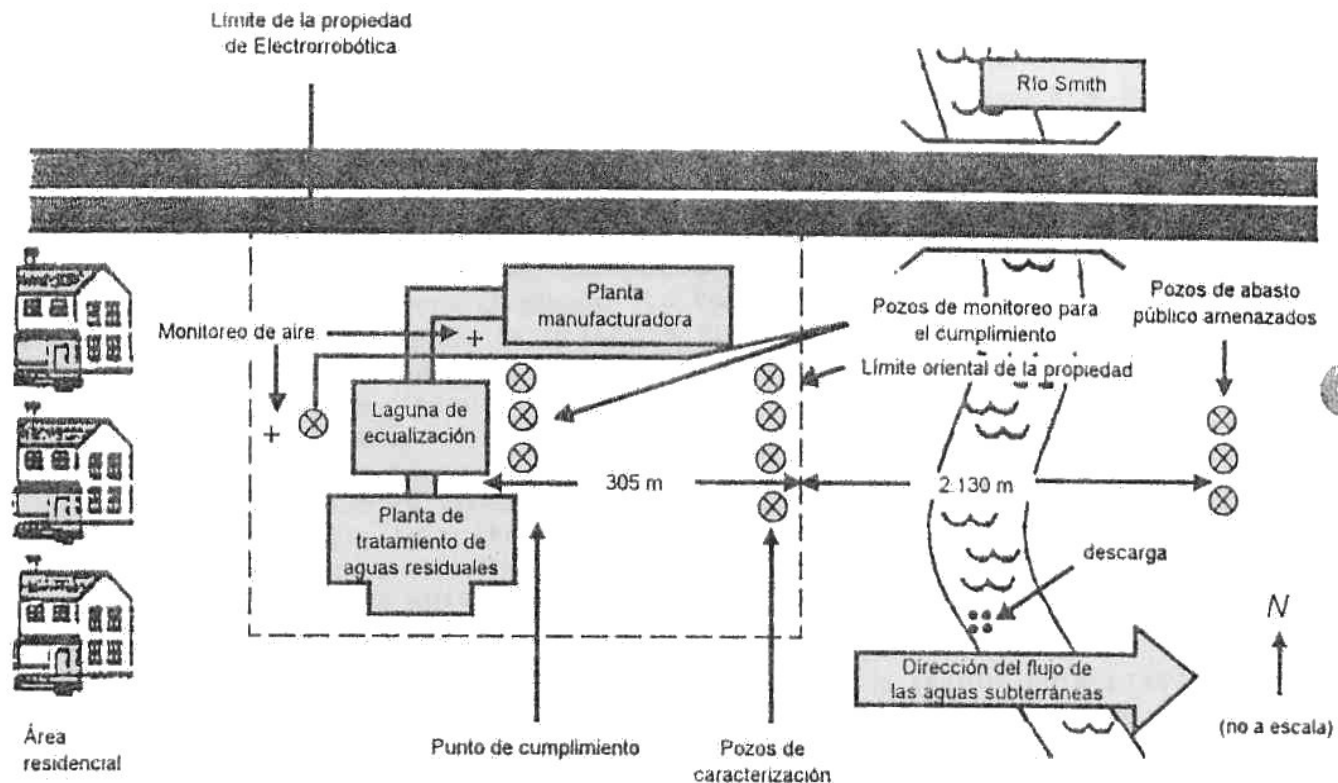


# I. Evaluación de Riesgos

- 1) Antecedentes sobre DNT
- 2) Evaluación del Peligro
- 3) Evaluación de la Dosis-Respuesta
- 4) Evaluación de la Exposición Humana
- 5) Caracterización del Riesgo

# Evaluación de la Exposición Humana

## ■ Descripción del Sitio



# Evaluación de la Exposición Humana

## ■ Información disponible sobre concentraciones ambientales de DNT

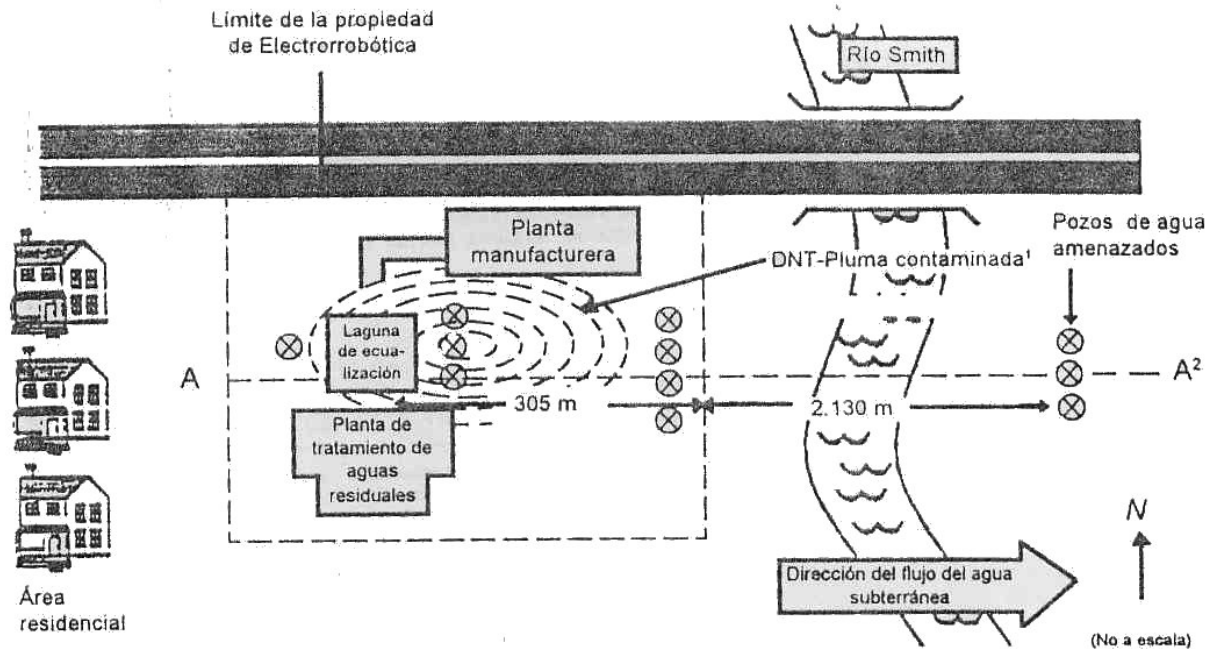
MEDICIONES DE CONCENTRACIONES DE DNT EN EL TERRENO

<u>Medio</u>	<u>Ubicación</u>	<u>Nivel de Detección</u>	<u>DNT</u>		
			<u>Promedio</u>	<u>Desviación Estándar</u>	<u>Rango</u>
Aire	Dentro de la planta de tratamiento	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	ND <sup>1</sup>	-	-
Aire	En el límite oeste del sitio	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	176	60	111-223
Aire	Dentro del sitio	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	952	245	502-980
Agua subterránea	Punto de cumplimiento	[ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	33.200	5.200	26.610-40.100
Agua subterránea	Límite este de la propiedad	[ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	BLD <sup>2</sup>	-	-
Agua subterránea	A nivel de pozos públicos	[ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	ND <sup>1</sup>	-	-
Agua superficial	Descarga de la planta de tratamiento	[ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	ND <sup>1</sup>	-	-

<sup>1</sup> No detectado a 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire o a 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  de agua.

<sup>2</sup> Concentraciones traza por abajo del límite de detección de 1  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

## Plano del Sitio



### RESUMEN DE CONCENTRACIONES SEGÚN MODELO DE DNT EN ESTADO ESTABLE EN AGUA SUBTERRÁNEA<sup>1</sup>

Ubicación	DNT (ug/L)
Limite este de la propiedad	27.500
Sector de pozos públicos	530

<sup>1</sup> Tiempo estimado para que el DNT viaje de la laguna al límite de la propiedad es 1.000 días (cerca de 3 años). El tiempo estimado de traslado de la laguna al sector de los pozos públicos es de 3.000 días (cerca de 22 años).

# Evaluación de la Exposición Humana

- Cálculos de la Exposición Humana
  - Inhalación de aire contaminado con DNT por los residentes vecinos
    - Un adulto inhala  $23 \text{ m}^3/\text{día}$
    - La duración annual de la exposición es de un 30%
    - El peso de un adulto es 70 kg
    - El factor de absorción de DNT es 0,75
    - El adulto vive en el lugar toda su vida
    - Concentración media de DNT en el aire =  $0,176 \text{ mg/m}^3$

$$\text{Exposición} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ mg/kg/día}$$

# Evaluación de la Exposición Humana

## ■ Exposiciones en el Ecosistema

- ☐ No se encontró evidencia de daño ecológico en el ecosistema del río Smith
- ☐ Se observó cambio del río alrededor del desague
- ☐ Se encontraron especies amenazadas en las inmediaciones del río (no atribuible a DNT)
- ☐ En el desague no se encontró DNT a un límite de detección de  $1\mu\text{g/L}$





## ■ Evaluación de Riesgos

1. Antecedentes sobre DNT
2. Evaluación del Peligro
3. Evaluación de la Dosis-Respuesta
4. Evaluación de la Exposición Humana
5. Caracterización del Riesgo



# Objetivos

Integrar información de las demás etapas:

- Proporcionar cálculo número explícito del exceso de riesgo de cáncer
- Comparar exposición real con DRf
- Calcular margen de exposición (MdE)
- Describir cualitativamente los riesgos.

# Exceso de riesgo de cáncer durante la vida por DNT

- Exceso de riesgo durante la vida (probabilidad)=  
factor de pendiente \* unidades de exposición

# Estimaciones (límite superior) de factores de pendiente para toda la vida, pronosticados al aplicar los modelos preferido por la EPA a los datos de tumores por DNT

Especies, sexo	Vía de exposición	Sitio del tumor	Factor de pendiente (potencia)
Rata, macho	Inhalación	Pulmón	0,0186 (1,86 x 10 <sup>-2</sup> )
Rata, macho	Inhalación	Bazo	0,0126 (1,26 x 10 <sup>-2</sup> )
Rata, macho	Inhalación	Hígado	0,0168 (1,68 x 10 <sup>-2</sup> )
Rata, macho	Sonda gástrica	Estómago	0,0054 (5,4 x 10 <sup>-3</sup> )
Rata, hembra	Sonda gástrica	Estómago	0,0054 (5,4 x 10 <sup>-3</sup> )
Rata, macho	Sonda gástrica	Hígado	0,0120 (1,2 x 10 <sup>-2</sup> )
Rata, macho	Sonda gástrica	Bazo	0,0228 (2,28 x 10 <sup>-2</sup> )
Ratón, macho	Sonda gástrica	Hígado	<b>0,0897 (8,97 x 10<sup>-2</sup>)</b>
Ratón, macho	Sonda gástrica	Estómago	0,0096 (9,6 x 10 <sup>-3</sup> )

# Resumen de los cálculos sobre exposición

Medio	DNT (mg/Kg/día)	Número de personas expuestas
Aire, residentes vecinos (basado en concentraciones actuales en el aire)	<b>1,3 x 10<sup>-2</sup></b>	80
Aire, trabajadores en el sitio (intemperie) (basado en concentraciones actuales en el aire)	1,9 x 10 <sup>-3</sup>	150
Agua subterránea, punto de cumplimiento (basado en concentraciones actuales, sin embargo, no hay individuos expuestos)	9,5 x 10 <sup>-4</sup>	0
Agua subterránea, límite este de la propiedad (nadie recibe agua de este punto)	7,8 x 10 <sup>-5</sup>	0
Agua subterránea, sector de pozos públicos	7,6 x 10 <sup>-6</sup>	50.000

# Límite superior estimado del riesgo humano de cáncer en exceso y márgenes de exposición a DNT basados en exposiciones por contaminación potencial del aire en el sector de pozos públicos

	Población general (50.000)	Residentes vecinos (80)	Trabajadores (150)
<p>A -Exceso actual en el riesgo individual de cáncer por aire:</p> <p>Valor más alto del factor de pendiente (0,0897) para DNT * exposición para aire</p>	-	1 x 10 <sup>-3</sup>	2 x 10 <sup>-3</sup>
<p>B -Exceso potencial de riesgo individual de cáncer por agua, asumiendo una exposición en el sector de los pozos públicos de aquí a 22 años</p> <p>Valor más alto del factor de pendiente (0,0897) para DNT * exposición para agua</p>	1 x 10 <sup>-3</sup>	1 x 10 <sup>-3</sup>	1 x 10 <sup>-3</sup>
<p>C -Exceso total de riesgo individual de cáncer (agua y aire) A+B</p>	1 x 10 <sup>-3</sup>	2 x 10 <sup>-3</sup>	3 x 10 <sup>-3</sup>
<p>D -Estimado (límite superior) del exceso de <b>casos de cáncer</b> a lo largo del período de vida</p> <p>C*número estimado de personas expuestas</p>	50	0,16	0,45
<p>E -Exposición (mg /Kg/día) <b>DRF (2x10<sup>-2</sup> mg /Kg / día)</b></p> <p>Basado en valores reales actuales de exposición por aire y estimaciones futuras de exposición por agua</p>	1,6 x 10 <sup>-2</sup>	2,9 x 10 <sup>-2</sup>	3,5 x 10 <sup>-2</sup>
<p>F – <b>MdE</b> (debe ser mayor que 100, sino excede DRF (0,02 mg /Kg / día))</p> <p>(NOAEL (2 mg/Kg/día) / exposición por agua y aire (dosis humana) (E)</p>	125	69	57

# Comparación de Riesgos

Situación	Riesgo durante la vida (promedio)	Incertidumbre
Accidente por vehículo motorizado (total)	$1,7 \times 10^{-2}$	10%
Accidente por vehículo motorizado (sólo peatón)	<b><math>2,9 \times 10^{-3}</math></b>	10%
Accidente en el hogar	$7,7 \times 10^{-3}$	5%
Electrocución	$3,7 \times 10^{-4}$	5%
Contaminación del aire (en Este de los EUA)	$1,4 \times 10^{-2}$	Factor de 20 y menos solamente
Consumo de cigarrillo, un paquete por día	$2,5 \times 10^{-1}$	Factor de 3
Radiación basal a nivel del mar (excepto Radón)	$1,4 \times 10^{-3}$	Factor de 3
Cáncer de todo tipo	$2 \times 10^{-1}$	10%
Cuatro cucharadas diarias de mantequilla de maní/cacahuete	$6 \times 10^{-4}$	Factor de 3
Agua potable con límite de cloroformo establecido por EPA	$4 \times 10^{-5}$	Factor de 10
Agua potable con límite de tricloroetileno establecido por EPA	$1 \times 10^{-7}$	Factor de 10
Alcohol, bebedor ligero	$1 \times 10^{-3}$	Factor de 10
Muerte de policía en servicio (total)	$1,5 \times 10^{-2}$	20%
Muerte de policía en servicio por criminales	$9,1 \times 10^{-3}$	10%
Volar frecuentemente	$4 \times 10^{-3}$	50%
Montañismo (escaladores)	$4 \times 10^{-2}$	50%




# Conclusiones

- El DNT es un carcinógeno humano probable, basado en las observaciones de carcinogenicidad en dos especies de animales experimentales.
- Los humanos están expuestos al DNT por medio del aire y el agua.
- En general, grandes cantidades de personas están expuestas a niveles relativamente altos de DNT.



# Conclusiones ...

- El número estimado de casos de cáncer en la población general es alto, mientras que los casos estimados en los residentes vecinos y en los trabajadores son bajos ( $<1$ )
- Las exposiciones potenciales de todos los grupos están cerca de o exceden la DRF, indicando un riesgo potencial de efectos sistémicos por exposición al DNT.



# Cálculos por Modelos en Aguas Subterráneas y Suposiciones Asociadas

# Mediciones de Concentraciones de DNT en el terreno

			DNT		
Medio	Ubicación	Nivel de detección	Promedio	Desviación estándar	Rango
Aire	Dentro de la planta de tratamiento	ug/m3	ND		
Aire	En el límite oeste del sitio	ug/m3	176	60	111-223
Aire	Dentro del sitio	ug/m3	952	245	502-980
Agua subterránea	<b>Punto de cumplimiento</b>	ug/l	<b>33.200</b>	5.200	<b>26.610-40.100</b>
Agua subterránea	Límite este de la propiedad	ug/l	BLD	-	-
Agua subterránea	A nivel de pozos públicos	ug/l	ND	-	-
Agua superficial	Descarga de la planta de tratamiento	ug/l	ND	-	-

ND = no detectado a 1 ug/m3 de aire o a 1 ug/l de agua

BLD =concentraciones traza por abajo del límite de detección de 1 ug/l

# Concentración pronosticada de DNT en agua subterránea proveniente de los pozos públicos del límite oriental de la propiedad

## Datos:

- Concentración en la laguna: 300 ppm (mg/l)=300.000 ug/l
- Concentración medida en el punto de cumplimiento: 33.200 ppb (ug/l)
- Vida media de DNT en el acuífero: 10 años= 3650 días
- Tasa de degradación del DNT:  $0,693/\text{vida media} = 1,9 \times 10^{-4} \text{ día}^{-1}$
- Distancia de fuente contaminante al límite de la propiedad: 1000 pies = 305 m

# Cálculos:

- Tiempo de recorrido (T) entre la fuente y el límite de la propiedad:

$$T = \frac{\text{distancia recorrida} \cdot \text{porosidad efectiva}}{\text{conductividad hidráulica} \cdot \text{gradiente hidráulico}}$$

$$T = \frac{1.000 \text{ pies} \cdot 0,2}{40 \text{ pies/día} \cdot 0,005} = 1.000 \text{ días}$$

- Concentración en estado estable en los límites de la propiedad:

$$\text{Concentración en punto de cumplimiento} \cdot \exp[\text{tasa de degradación} \cdot \text{Tiempo}]$$

$$33.200 \text{ ppb} \cdot \exp\left[(-1,9 \cdot 10^{-4} \text{ día}^{-1}) \cdot 1.000 \text{ días}\right] = 27.500 \text{ ppb}(\text{ug/l})$$

## Cálculos ...

- Distancia de la fuente al terreno con pozos públicos:

1,5 millas= 8.000 pies = 2.435 m

- Tiempo de recorrido desde la fuente hasta los tres pozos amenazados:

$$T = \frac{8.000 \text{ pies} \cdot 0,2}{40 \text{ pies} / \text{día} \cdot 0,005} = 8.000 \text{ días}$$

- Concentración en estado estable en los tres pozos amenazados:

$$33.200 \text{ ppb} \cdot \exp\left[\left(-1,9 \cdot 10^{-4} \text{ día}^{-1}\right) \cdot 8.000 \text{ días}\right] = 7.300 \text{ ppb}$$

- Concentración en estado estable en el punto real de exposición (suministro de agua potable):

Los 3 pozos amenazados proporcionan el 7,5 % del total del suministro de agua potable, luego

$$0,075 \cdot 7.300 \text{ ppb} = 550 \text{ ppb}(\text{ug/l})$$



## 5 Cálculos de Dosis de Humanos y Suposiciones Asociadas

# 1-Inhalación de aire contaminado con DNT por los residentes vecinos

Suposiciones:

- Un adulto inhala  $23 \text{ m}^3/\text{día}$  de aire
- La duración de la exposición equivale al 30 % del tiempo en base al promedio anual
- El peso corporal de un adulto es 70 Kg
- El factor de adsorción por inhalación para DNT es 0,75
- El adulto vive en el hogar durante su vida



# Cálculo:

Dosis=

$$\frac{(\text{Concentración}_{\text{promedio\_DNT\_en\_aire}}) \cdot \text{inhalación} \cdot \text{factor\_de\_ingreso} \cdot \text{factor\_de\_absorción}}{\text{Peso\_corporal}}$$

$$= \frac{0,176 \text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{23 \text{m}^3}{\text{día}} \cdot \frac{1}{70 \text{Kg}} \cdot 0,3 \cdot 0,75 = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{mg} / \text{Kg} / \text{día}$$

## 2-Inhalación de Aire Contaminado con DNT por los trabajadores

Suposiciones:

- Un adulto inhala  $23 \text{ m}^3/\text{día}$  de aire
- El peso corporal de un adulto es 70 Kg
- El factor de adsorción por inhalación para DNT es 0,75
- La duración de la exposición es de 40 horas/semana por un período de trabajo de 30 años o 10,2 % del tiempo de vida promedio

# Cálculo:

Dosis=

$$\frac{(\text{Concentración}_{\text{promedio\_DNT\_en\_aire}}) \cdot \text{inhalación} \cdot \text{factor\_de\_ingreso} \cdot \text{factor\_de\_absorción}}{\text{Peso\_corporal}}$$

$$\frac{\frac{0,752 \text{mg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{23 \text{m}^3}{\text{día}} \cdot 0,102 \cdot 0,75}{70 \text{Kg}} = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{mg} / \text{Kg} / \text{día}$$

### 3-Ingestión de Agua Potable contaminada con DNT en el punto de Cumplimiento

Suposiciones:

- Un adulto consume 2 litros de agua al día
- El peso corporal de un adulto es 70 Kg
- La absorción es del 100 %
- El agua es consumida durante toda la vida del adulto

# Cálculo:

Dosis=

$$\frac{\text{Concentración\_DNT\_agua\_subterránea\_en\_punto\_de\_cumplimiento} \cdot \text{Consumo\_diario\_agua} \cdot \text{factor\_ingestión} \cdot \text{factor\_absorción}}{\text{Peso\_corporal}}$$

$$\frac{\frac{3,32mg}{litro} \cdot \frac{2litros}{día} \cdot 1 \cdot 1}{70Kg} = 9,5 \cdot 10^{-2} mg / Kg / día$$

## 4-Ingestión de Agua potable del Límite Oriental de la Propiedad Contaminada por DNT

Suposiciones:

- Un adulto consume 2 litros de agua al día
- El peso corporal de un adulto es 70 Kg
- La absorción es del 100 %
- El agua es consumida durante toda la vida del adulto

# Cálculo:

Dosis=

$$\frac{\text{Concentración}_{\text{pronosticada}} \cdot \text{DNT} \cdot \text{Consumo}_{\text{diario}} \cdot \text{agua} \cdot \text{factor}_{\text{ingestión}} \cdot \text{factor}_{\text{absorción}}}{\text{Peso}_{\text{corporal}}}$$

$$\frac{\frac{27,5\text{mg}}{\text{litro}} \cdot \frac{2\text{litros}}{\text{día}} \cdot 1 \cdot 1}{70\text{Kg}} = 7,8 \cdot 10^{-1} \text{mg} / \text{Kg} / \text{día}$$

## 5-Ingestión de Agua potable de Pozos Públicos Contaminada por DNT

Suposiciones:

- Un adulto consume 2 litros de agua al día
- El peso corporal de un adulto es 70 Kg
- La absorción es del 100 %
- El agua es consumida durante toda la vida del adulto



# Cálculo:

Dosis=

$$\frac{\text{Concentración}_{\text{pronosticada}} \cdot \text{DNT} \cdot \text{Consumo}_{\text{agua}_{\text{diario}}} \cdot \text{factor}_{\text{ingestión}} \cdot \text{factor}_{\text{absorción}}}{\text{Peso}_{\text{corporal}}}$$

$$\frac{\frac{5,5 \cdot 10^{-1} \text{mg}}{\text{litro}} \cdot \frac{2 \text{litros}}{\text{día}} \cdot 1 \cdot 1}{70 \text{Kg}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{mg} / \text{Kg} / \text{día}$$



## Parte II: El Manejo de los Riesgos del DNT



# Objetivo

- Decidir qué acciones se van a exigir a los dueños de Electrorobótica

# Normas

Se le exige que el administrador regional que establezca en el permiso a la fábrica un límite de concentración de DNT:

- Nivel basal del compuesto peligroso
- Límite de concentración máxima (LCM), establecido por norma
- Límite de concentración alterno (LCA)

# Normas...

- El nivel basal y el LCM son establecidos en el permiso a menos que se haga una solicitud para un LCA
- **Nivel basal DNT = 0**
- No se ha fijado LCM
- LCA si se demuestra DNT no tóxico

# Opciones

- Para seguir operando la fábrica, DNT no debe entrar a aguas subterráneas
- 1. Opción propuesta por fábrica: Reacomodar la laguna:
  - Bombear líquidos
  - Excavar suelo contaminado
  - Tecnología **mínima** para que no escape DNT



# Opciones...

2. Instalación de una tapa sobre la laguna
3. Opción 2 + bombeo + tratamiento de agua subterránea contaminada
4. Opción 2 + opción 3 + construcción de una pared de argamasa alrededor de la laguna
5. Excavación por debajo y alrededor de la laguna, bombeo y tratamiento de aguas



## Opción 2: Tapa

- Tapa sobre la laguna
- **No** incluye tratamiento de aguas

### **Alcances:**

- Desaguar la laguna y excavar lodo acumulado (remover líquidos libres y tratarlos como desechos peligrosos)
- Solidificar lodos y rellenar laguna con material limpio





## Opción 2...

- Instalar tapa de materiales múltiples sobre laguna previendo infiltración.
- Mantener la tapa, realizar monitoreo y cuidado después del cierre.

### **Incertidumbres:**

- Duración de la tapa y su efectividad.
- Persistencia de contaminación bajo la tapa.
- Continuidad en el monitoreo y cuidado general.



## Opción 3: tapa/bomba y Tratamiento

- Tapa sobre la laguna
- Bombeo y tratamiento (adsorción por carbón)

### **Alcances:**


- Los de opción 2
- Estudio hidrológico adicional
- Instalación de pozos de extracción y tratar agua subterránea con adsorción por carbón.



## Opción 3...

### **Incertidumbres:**

- Las de opción 2.
- Duración de la operación del sistema de tratamiento.
- Efectividad del sistema de extracción del agua subterránea para sacar el agua contaminada.



## Opción 4: Tapa con pared de Argamasa/Bombeo y tratamiento

### **Alcances:**

- Laguna tapada
- Agua contaminada corregida por bombeo y tratamiento por adsorción con carbón
- Instalación de una pared de argamasa de barro de bentonita en el perímetro de la laguna para prevenir flujo directo del agua subterránea y limitar desplazamiento del DNT desde la zona saturada hacia el agua subterránea.



# Opción 4...

## **Incertidumbres:**

- Las opciones 2 y 3
- Integridad a largo plazo de la pared para aislar tanto la contaminación actual como el potencial de emisiones futuras de DNT hacia el agua subterránea.



## Opción 5: Excavación/Bombeo y tratamiento

Es la más cercana a eliminación completa del DNT de la instalación de Electrorobótica y sus alrededores:

- Contaminación actual se corregiría al bombearla y al tratarla con adsorción por carbón.
- Fuente de contaminación se controlaría al excavar el suelo alrededor y debajo de la laguna.



## Opción 5...

### **Alcances:**

- Sacar el agua de la laguna y excavar el lodo acumulado y material de recubrimiento.
- Analizar el suelo subyacente en cuanto a contaminación química y eliminación de suelo si es necesario.
- Rellenar excavación con material limpio y estabilizarlo con hierba u otro.
- Estudio hidrogeológico adicional



## Opción 5...

- Instalación de pozos de extracción y tratar agua por adsorción con carbón
- Monitoreo de larga duración y cuidado general a instalación después del cierre.

### **Incertidumbres:**

- Duración de la operación del sistema de tratamiento.
- Efectividad del sistema de extracción.





# Impacto Económico

- Gastos por parte de Electrorobótica
- Ha estado cerca de la bancarrota varias veces
- Electrorobótica dice que sólo puede costear opción 1 y opción 2. Las otras, la dejarían en bancarrota.
- Si quiebra, sus 150 trabajadores quedarían cesantes. En Utopía, ya hay una alta cesantía.

# Costos de las Opciones de Control para la planta de Electrorobótica

Opción	Costo actual	Costo anualizado
<b>Opción 1:</b> Propuesta de empresa (readecuación)	\$ 450.000	\$ 45.000
<b>Opción 2:</b> Tapa y costos asociados	\$ 600.000	\$ 64.000
<b>Opción 3:</b> Tapa y costos asociados. Sistema de bombeo y tratamiento total	\$ 600.000 <u>\$ 220.000</u> \$ 820.000	\$ 64.000 <u>\$ 31.000</u> \$ 95.000
<b>Opción 4:</b> Tapa y costos asociados. Sistema de bombeo y tratamiento total. Muro de argamasa	\$ 600.000 \$ 220.000 <u>\$ 500.000</u> \$ 1.320.000	\$ 64.000 \$53.000 <u>\$ 24.000</u> \$ 141.000
<b>Opción 5:</b> Excavación y costos asociados. Sistema de bombeo y tratamiento total.	\$2.400.000 <u>\$ 220.000</u> \$ 2.620.000	\$ 255.000 <u>\$ 24.000</u> \$ 279.000

Costo actual anualizado a una tasa de interés de 10 % por 30 años

# Exceso de Riesgo

- El riesgo para un individuo es:

$$\text{Exceso\_de\_riesgo} = \text{factor\_de\_pendiente} \cdot \text{unidades\_de\_exposición}$$

- Factor de pendiente para este caso= **0,0897**  
**(8,97 x 10<sup>-2</sup>)**
- Unidades de exposición: DNT (mg /Kg /día)

# Cálculos del límite superior del exceso de riesgo humano asociado a la exposición a DNT en aire y en agua de pozos públicos para las diferentes opciones de control

	Riesgo Individual		
	Población general	Residentes vecinos	Trabajadores
Sin control	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-3}$
Opción 1: Readecuación	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$
Opciones de Control			
Opción 2: Tapa	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$
Opción 3: Tapa/ bombeo y tratamiento	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
Opción 4: Tapa/ bombeo y tratamiento/ muro de argamasa	$4 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-6}$	$4 \times 10^{-6}$
Opción 5: Excavación/ bombeo y tratamiento/ muro de argamasa	$2 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$

Opciones 2 a 5 eliminan el riesgo a partir del aire. Los riesgos se atribuyen al DNT que queda en el agua subterránea después del control. Luego, todos los individuos tienen el mismo riesgo.

# Cálculos del límite superior del exceso de casos de cáncer asociados a la exposición del DNT en aire y agua de pozos públicos bajo diferentes alternativas de control

	Riesgo Individual		
	Población general (50.000)	Residentes vecinos (80)	Trabajadores (150)
Sin control	<b>50</b>	0,16	0,45
Opción 1: Readecuación	<b>1</b>	0,06	0,3
Opciones de Control			
Opción 2: Tapa	<b>50</b>	0,08	0,15
Opción 3: Tapa/ bombeo y tratamiento	<b>1</b>	<0,01	<0,01
Opción 4: Tapa/ bombeo y tratamiento/ muro de argamasa	0,2	<0,01	<0,01
Opción 5: Excavación/ bombeo y tratamiento/ muro de argamasa	0,1	<0,01	<0,01

Los cálculos de los casos de cáncer en exceso, se calculan multiplicando el riesgo individual por el número de personas expuestas



# Discusiones

- Todas las opciones reducen los riesgos.
- El programa de readecuación de la planta (opción 1) reduciría riesgos asociados con el agua subterránea (si forro evita filtración), pero no eliminaría el riesgo a partir del aire.
- Las opciones 2 a 5 eliminan riesgo por aire.

# Discusiones ...

- Es difícil pronosticar efectividades de las opciones.
- Es difícil comparar riesgos si hay incertidumbres en cada opción.
- Opciones 2 a 5, eliminarían volatilización del DNT de la laguna, pero esto podría aumentar su concentración en el agua de desecho enviadas a planta de tratamiento, lo que podría aumentar el DNT en el efluente.



# Discusiones ...

- Ingenieros de la planta indican que es imposible eliminar todo el DNT del agua subterránea, y sugieren aumentar el tiempo de operación del bombeo y tratamiento, pues se podría disminuir aun más que por la opción 5.





# Conclusiones

- Exigir estudios a Electrorobótica que respalden que aumentando el tiempo de operación del bombeo y tratamiento, se podría disminuir el riesgo a valores menores que opción 5. Y si fuese así, que determinen factibilidad del sistema de operación.
- Estudiar cada tipo de tecnología señalada para eliminar incertidumbres de factibilidad.
- Analizar uso de biodegradación.



Fin de la presentación





# Anexo

## ■ Tecnologías disponibles

# Tecnologías Disponibles

## Tapa o cubierta

Uso	Desventaja	Solución
<ul style="list-style-type: none"><li>•La laguna seca y llenada con relleno limpio, se cubre con una tapa segura para prevenir la infiltración de agua, la cual podría lixiviar DNT a partir de los lodos fijos en el relleno.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Erosión</li><li>•Cambios en el relleno ( ciclos de sequedad-humedad,congelamiento-derretimiento) causan fisuras. En sistemas donde el barro se ha mezclado con otros agentes.</li><li>•Membranas sintéticas se pueden ver afectadas por tracción si son flexibles y por resquebrajamiento si son rígidas.</li><li>•Las barreras de concreto sujetas a resquebrajamiento o deterioro</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>•Colocar vegetación, pues disminuye el impacto de la lluvia y el viento en la tapa</li><li>•Instalación de un amortiguador suave de arena.</li><li>•Sellado con alquitrán</li></ul>

# Tecnologías Disponibles ...

## Muro de Argamasa

Uso	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>Se instala un muro de argamasa en el perímetro de la laguna para evitar mayor movimiento del DNT, al restringir el movimiento de agua subterránea bajo la fuente contaminante.</li><li>método de construcción más usado es el método de zanja.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Las áreas adyacentes no se ven afectadas por el dragado de agua subterránea.</li><li>Métodos de construcción fáciles</li><li>La bentonita no se deteriora con el tiempo.</li><li>Hay bentonitas resistentes a lixiviación. Pocos requisitos de mantenimiento.</li><li>Se eliminan los riesgos por rupturas de bombas o fallas de energía.</li><li>Se eliminan los colectores y otros obstáculos sobre la superficie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Una construcción inadecuada y las fuerzas de tensión/distensión pueden causar daño estructural.</li><li>Los ácidos y sulfatos en el agua subterránea pueden degradar un tipo de zanjas.</li><li>La permeabilidad de un tipo de zanja puede aumentare en presencia de materia orgánicas, Ca, Mg, metales pesados y soluciones de fuerza iónica alta.</li><li>Cierta filtración a través de la argamasa es inevitable.</li><li>A veces es costoso obtener bentonita.</li><li>Algunos procesos de construcción están patentados y requieren de un permiso.</li><li>En terreno rocoso, es necesario sobreexcavar debido a las grandes piedras.</li><li>La bentonitas se deteriora cuando se expone a lixiviados con alta fuerza iónica.</li></ul>

# **Tecnologías Disponibles ...**

## **Excavación y Extracción**

- Para tratar el agua contaminada, se deben excavar pozos de extracción y/o inyección.
- Taladrar agujeros, luego se instalan envolturas y revestimientos, se pone argamasa y se sellan los espacios anulares y se ponen en su lugar tamices y otros.
- Se necesita información antes de construir pozos (estudios hidrogeólogos)

# Tecnologías Disponibles ...

## Adsorción por Carbón

- Los gránulos de carbón activado remueven los contaminantes orgánicos del agua de desecho atrayendo y sosteniendo a los compuestos en la superficie.
- La concentración de DNT debe ser inferior al 1 % para que la remoción sea efectiva. Eficiencia del 99% (99% de los contaminantes del flujo que da adherido al carbón)
- Para cantidades superiores a 181 kg al día es más económico reciclar el carbón (regeneración por calor (pequeñas emisiones DNT), vapor o disolventes)
- La adsorción es de 5 libras de materia orgánica por cada 100 libras de carbón.



# Tecnologías Disponibles ...

## Biodegradación

- Examinar grado de contaminación del agua subterránea, hidrología del sitio, etc.
- Factores ambientales que controlan la biodegradación: pH, T, potencial redox, salinidad, nutrientes, OD y contaminantes.
- Determinar si M.O. degradan derrame. Si es así, encontrar relación de nutrientes/OD a una T específica, para crecimiento celular.
- Construcción de pozos para inyectar los nutrientes y oxígeno.

# Tecnologías Disponibles ...

- Útil para remover niveles bajos de compuestos orgánicos. Y no degrada algunos materiales orgánicos.
- Tratamiento a corto plazo, pero lento para concentraciones altas de contaminantes.
- Puede ser caro si necesita inyección de nutrientes u oxígeno a largo plazo.
- Pueden provocar mal sabor u olor.