

Estudio de Caso:

Evaluación y Manejo del Riesgo por DNT en Electrorobótica

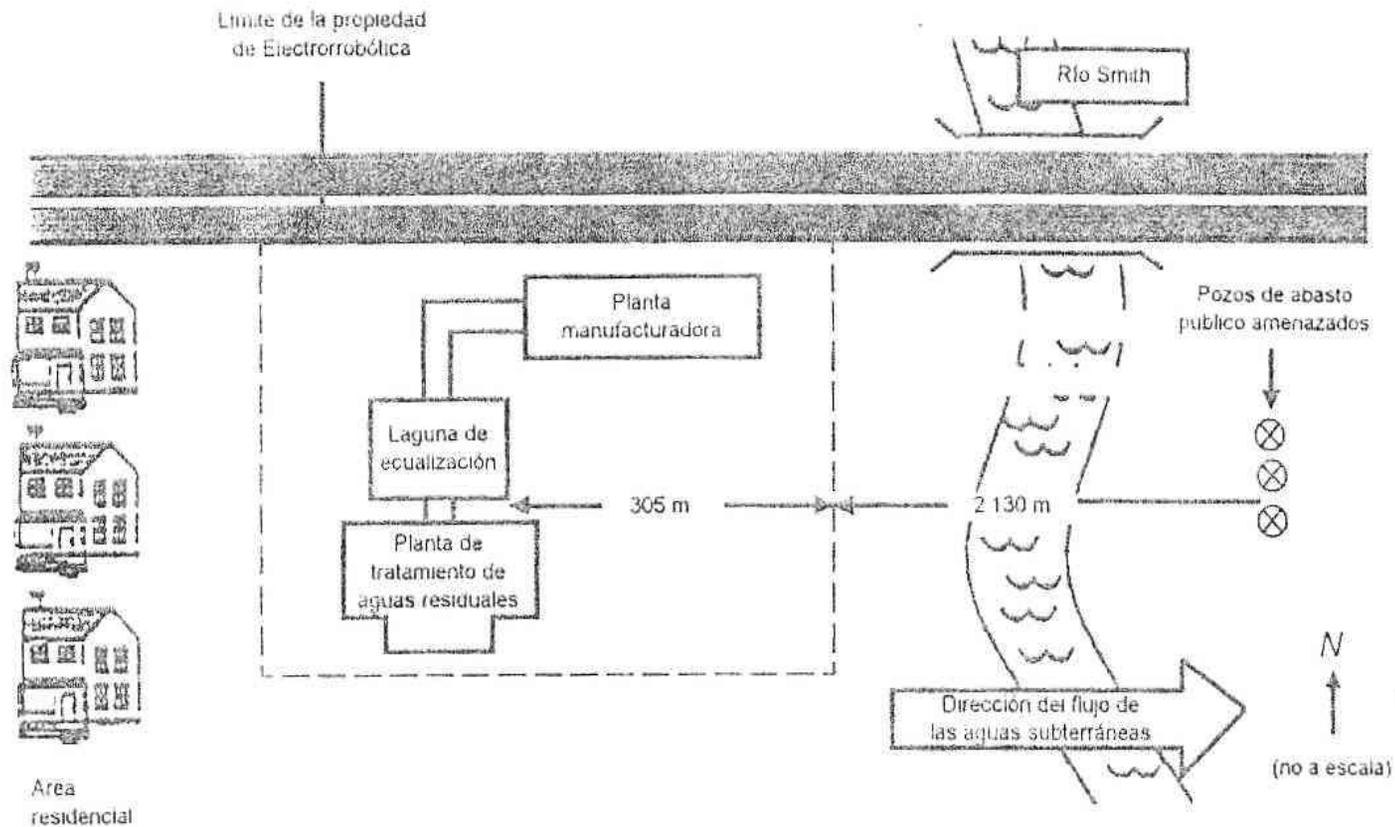
Braulio Brunaud Sánchez

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	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 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$

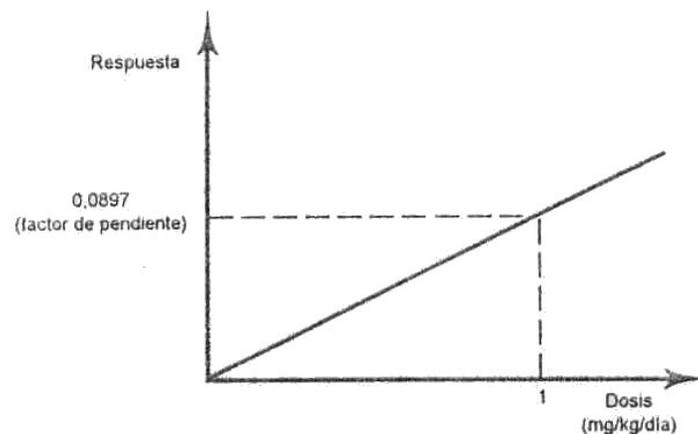
Evaluación Dosis-Respuesta

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 DNT¹

(Basados en el Cuadro 2)

<u>Especies, Sexo</u>	<u>Vía de Exposición</u>	<u>Sitio del Tumor</u>	<u>Factor de Pendiente (potencia)</u>
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 DNT¹



Evaluación Dosis-Respuesta

- Toxicidad Sistémica
 - Dosis de Referencia

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

- Margen de Exposición

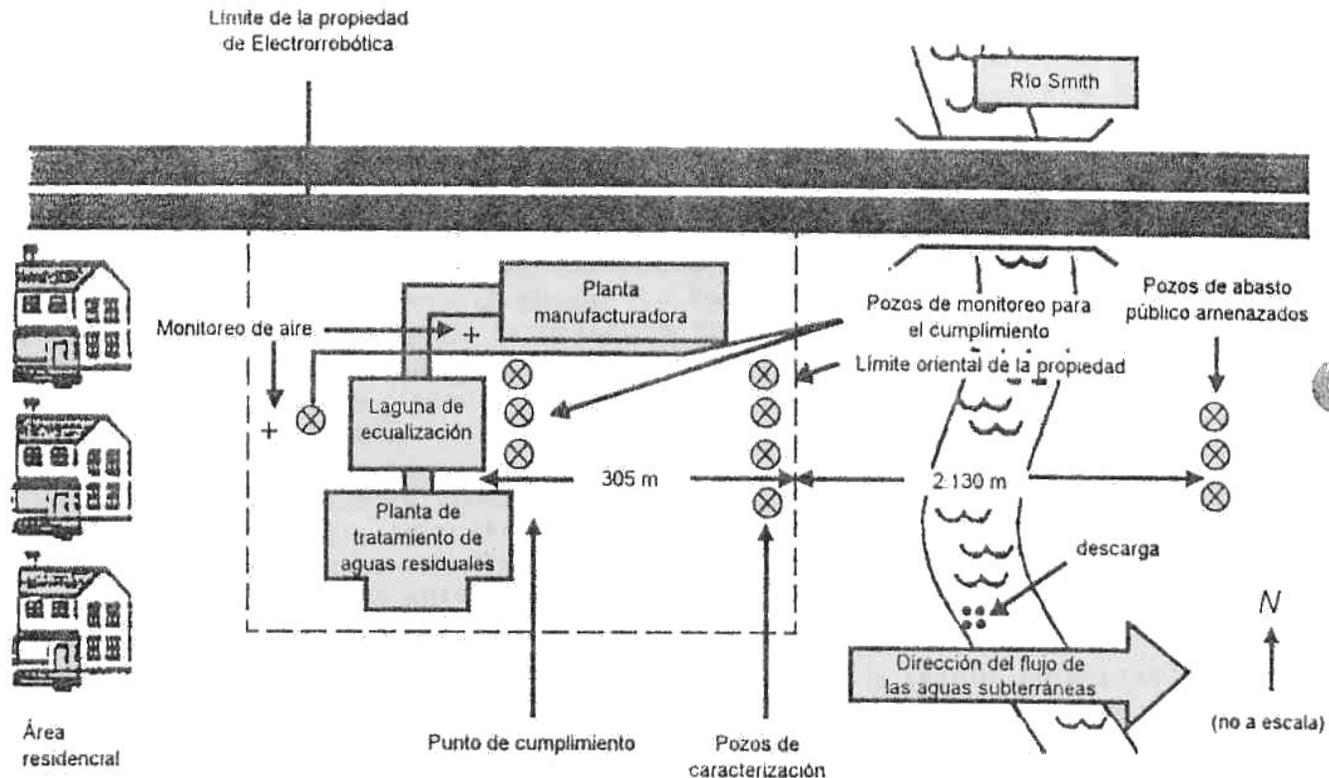
$$MdE = \frac{NOAEL \text{ para el Efecto Crítico}}{Dosis Humana}$$

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

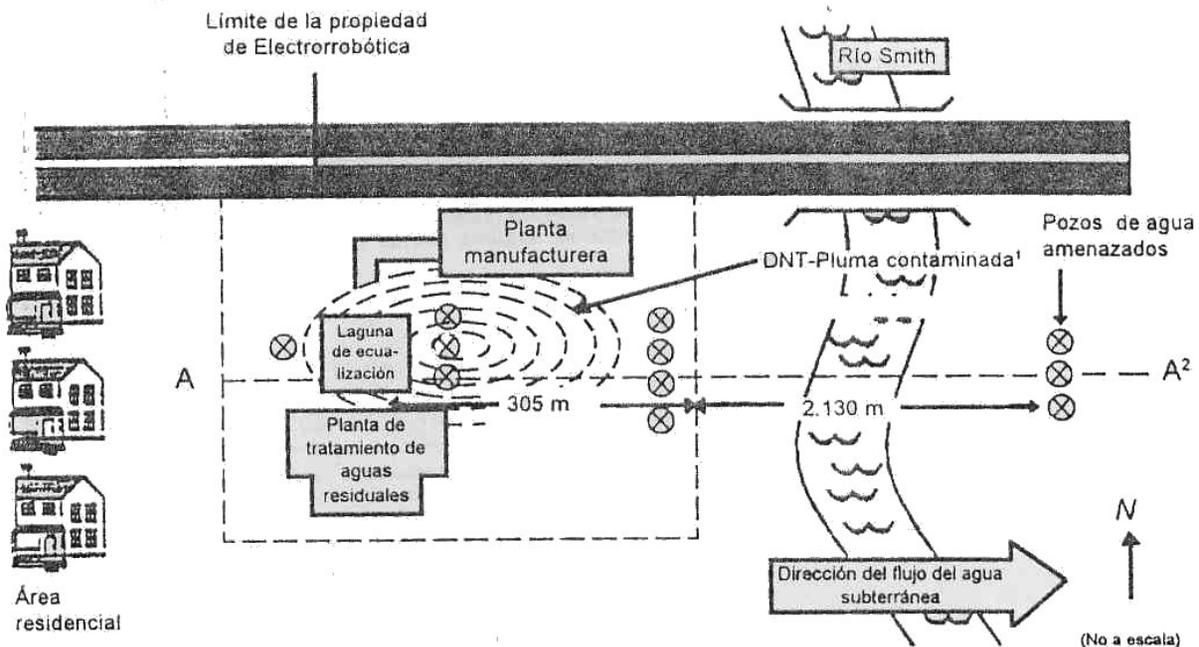
MEDICIONES DE CONCENTRACIONES DE DNT EN EL TERRENO

<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 ¹	-	-
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 ²	-	-
Agua subterránea	A nivel de pozos públicos	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	ND ¹	-	-
Agua superficial	Descarga de la planta de tratamiento	[$\mu\text{g}/\text{l}$]	ND ¹	-	-

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

² 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 SUBTERRÁNEA¹

Ubicación	DNT (µg/l)
Límite este de la propiedad	27.500
Sector de pozos públicos	550

¹ 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 m³/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 mg/m³

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

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 ⁻²)
Rata, macho	Inhalación	Bazo	0,0126 (1,26 x 10 ⁻²)
Rata, macho	Inhalación	Hígado	0,0168 (1,68 x 10 ⁻²)
Rata, macho	Sonda gástrica	Estómago	0,0054 (5,4 x 10 ⁻³)
Rata, hembra	Sonda gástrica	Estómago	0,0054 (5,4 x 10 ⁻³)
Rata, macho	Sonda gástrica	Hígado	0,0120 (1,2 x 10 ⁻²)
Rata, macho	Sonda gástrica	Bazo	0,0228 (2,28 x 10 ⁻²)
Ratón, macho	Sonda gástrica	Hígado	0,0897 (8,97 x 10⁻²)
Ratón, macho	Sonda gástrica	Estómago	0,0096 (9,6 x 10 ⁻³)

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)	1,3 x 10⁻²	80
Aire, trabajadores en el sitio (intemperie) (basado en concentraciones actuales en el aire)	1,9 x 10 ⁻³	150
Agua subterránea, punto de cumplimiento (basado en concentraciones actuales, sin embargo, no hay individuos expuestos)	9,5 x 10 ⁻⁴	0
Agua subterránea, límite este de la propiedad (nadie recibe agua de este punto)	7,8 x 10 ⁻⁵	0
Agua subterránea, sector de pozos públicos	7,6 x 10 ⁻⁶	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)
A -Exceso actual en el riesgo individual de cáncer por aire: Valor más alto del factor de pendiente (0,0897) para DNT * exposición para aire	-	1 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻³
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 Valor más alto del factor de pendiente (0,0897) para DNT * exposición para agua	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³	1 x 10 ⁻³
C -Exceso total de riesgo individual de cáncer (agua y aire) A+B	1 x 10 ⁻³	2 x 10 ⁻³	3 x 10 ⁻³
D -Estimado (límite superior) del exceso de casos de cáncer a lo largo del período de vida C*número estimado de personas expuestas	50	0,16	0,45
E -Exposición (mg /Kg/día) DRF (2x10⁻² mg /Kg / día) Basado en valores reales actuales de exposición por aire y estimaciones futuras de exposición por agua	1,6 x 10 ⁻²	2,9 x 10⁻²	3,5 x 10⁻²
F – MdE (debe ser mayor que 100, sino excede DRF (0,02 mg /Kg / día)) (NOAEL (2 mg/Kg/día) / exposición por agua y aire (dosis humana) (E)	125	69	57

Comparación de Riesgos

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

Medio	Ubicación	Nivel de detección	DNT		
			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	Punto de cumplimiento	ug/l	33.200	5.200	26.610-40.100
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:

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

- Concentración en estado estable en los tres pozos amenazados:

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

- 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 m³/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 m³/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=

$$\frac{(\text{Concentración}_{\text{promedio_DNT_en_aire}}) \cdot \text{inhalación} \cdot \text{factor_de_ingreso} \cdot \text{factor_de_absorción}}{\text{Peso_corporal}}$$

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

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=

$$\frac{\text{Concentración_DNT_agua_subterránea_en_punto_de_cumplimiento} \cdot \text{Consumo_diario_agua} \cdot \text{factor_ingestión} \cdot \text{factor_absorción}}{\text{Peso_corporal}}$$

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

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=

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

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

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=

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

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



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
Opción 1: Propuesta de empresa (readecuación)	\$ 450.000	\$ 45.000
Opción 2: Tapa y costos asociados	\$ 600.000	\$ 64.000
Opción 3: Tapa y costos asociados. Sistema de bombeo y tratamiento total	\$ 600.000	\$ 64.000
	<u>\$ 220.000</u>	<u>\$ 31.000</u>
	\$ 820.000	\$ 95.000
Opción 4: Tapa y costos asociados. Sistema de bombeo y tratamiento total. Muro de argamasa	\$ 600.000	\$ 64.000
	\$ 220.000	\$ 53.000
	<u>\$ 500.000</u>	<u>\$ 24.000</u>
	\$ 1.320.000	\$ 141.000
Opción 5: Excavación y costos asociados. Sistema de bombeo y tratamiento total.	\$ 2.400.000	\$ 255.000
	<u>\$ 220.000</u>	<u>\$ 24.000</u>
	\$ 2.620.000	\$ 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 10⁻²)
- 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	1×10^{-3}	2×10^{-3}	3×10^{-3}
Opción 1: Readecuación	2×10^{-5}	1×10^{-3}	2×10^{-3}
Opciones de Control			
Opción 2: Tapa	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}
Opción 3: Tapa/ bombeo y tratamiento	2×10^{-5}	2×10^{-5}	2×10^{-5}
Opción 4: Tapa/ bombeo y tratamiento/ muro de argamasa	4×10^{-6}	4×10^{-6}	4×10^{-6}
Opción 5: Excavación/ bombeo y tratamiento/ muro de argamasa	2×10^{-6}	2×10^{-6}	2×10^{-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	50	0,16	0,45
Opción 1: Readecuación	1	0,06	0,3
Opciones de Control			
Opción 2: Tapa	50	0,08	0,15
Opción 3: Tapa/ bombeo y tratamiento	1	<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">•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.	<ul style="list-style-type: none">•Erosión•Cambios en el relleno (ciclos de sequedad-humedad,congelamiento-derretimiento) causan fisuras. En sistemas donde el barro se ha mezclado con otros agentes.•Membranas sintéticas se pueden ver afectadas por tracción si son flexibles y por resquebrajamiento si son rígidas.•Las barreras de concreto sujetas a resquebrajamiento o deterioro	<ul style="list-style-type: none">•Colocar vegetación, pues disminuye el impacto de la lluvia y el viento en la tapa•Instalación de un amortiguador suave de arena.•Sellado con alquitrán

Tecnologías Disponibles ...

Muro de Argamasa

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

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.