

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y NUCLEAR**



**UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA**

**LA DEFENSA CIVIL CONTRA INCIDENTES NUCLEARES-  
BIOLÓGICOS-QUÍMICOS (N.B.Q), APLICACIÓN A UN ATAQUE  
CON UNA “BOMBA SUCIA” EN LA CIUDAD DE VALENCIA**

**TESIS DOCTORAL**

*Presentada por:*  
Juan Martín Cañizares Martínez

*Dirigida por:*  
Dr. Gumersindo Jesús Verdú Martín  
Dr. Ricardo Sanchís Arnal

*Valencia, Febrero de 2009*



**DEDICATORIA:**



**A TODAS LAS VÍCTIMAS  
DE LA BARBARIE  
HUMANA, NO HAY  
MOTIVO QUE  
JUSTIFIQUE EL  
ASESINATO NI EL  
SUFRIMIENTO**



*Esta tesis la dedico además a:*

*Teresa, Terete y Juan, mi familia, víctimas de mi “abandono temporal” por el tiempo dedicado a este trabajo, su apoyo y comprensión han sido decisivos para su ejecución.*

*A los Profesores Ricardo Sanchís y Gumersindo Verdú, de la Universidad Politécnica de Valencia, quienes me han orientado, dirigido y soportado, sin su ayuda y amistad tampoco se hubiera podido realizar.*

*A Miriam Ramón, Miguel Ramos y Rafael Miró, por su ayuda decisiva para materializar la tesis.*

*A la Universidad Politécnica de Valencia, que gracias a su innovadora concepción del trabajo académico y su utilidad social han hecho posible realizar esta tesis tan especial.*

*Esta frase de Buenaventura Durruti me ha ayudado mucho para plantearme la vida y como no este trabajo, así es que he querido hacerle un hueco en el:*

*“Nunca digas para luego, decídetelo y ejecuta que por la calle de luego se va a la plaza de nunca”*



## RESUMEN

Las actuales circunstancias sobre la política internacional, en sus aspectos estratégicos militares en las que fundamentalmente han pesado la desaparición de la Unión Soviética y su Pacto de Varsovia, que surgió como réplica en su día a la creación de una Alianza Defensiva Occidental denominada Organización del Atlántico Norte (OTAN), parecen sugerir la eliminación del riesgo de conflictos bélicos a grandes escalas con la consecuente utilización de la alta tecnología armamentística desarrollada a los efectos. pero por otro lado, la situación actual plagada de conflictos locorregionales fraticidas de origen étnico en muchos casos, en otros casos debidos a cuestiones históricas de delimitaciones geográficas y situados en países de escasos recursos económicos y por supuesto dependientes tecnológicamente hablando de las superpotencias, así como la aparición de movimientos terroristas organizados a nivel internacional y dotados de suficiente apoyo e infraestructura como para acceder a tecnología con capacidad destructiva importante, hacen considerar a los expertos y responsables políticos la necesidad y la utilidad de mantener estructuras de la Defensa Civil capaces de dar respuesta a este tipo de incidentes.

La presente tesis doctoral posee dos cometidos fundamentales reunir en un documento único la información básica relativa al posible uso, consecuencias y forma de actuar para la Defensa Civil en caso de la utilización de armas NBQ desde cualquier origen, incluyendo un exhaustivo estudio de referencias bibliográficas y fuentes de información adicionales y un segundo cometido que es la aplicación práctica en la ciudad de Valencia de un instrumento analítico capaz de predecir y estimar las consecuencias del uso de una de estas armas sobre la población civil, concretamente se trataría del uso por parte de un grupo terrorista de una "bomba sucia" compuesta por explosivos convencionales y una fuente radiactiva de procedencia sanitaria (teleterapia con Co60). Para esta simulación, se utilizan sistemas y códigos desarrollados por las Agencias Federales de los Estados Unidos de América y organismos Internacionales especializados.





## **ABSTRACT**

The current circumstances on the international politics, in his strategic military aspects in those who fundamentally have weighed the disappearance of the Soviet Union and his Warsaw Pact, which arose as reply in his) day to the creation of a Defensive Western Alliance named Organization of the North Atlantic (NATO), seem to suggest the elimination of the risk of warlike conflicts to big scales with the consistent utilization of the high arms technology developed to the effects. But on the other hand, the current situation riddled with conflicts places of ethnic origin in many cases, in other cases due to historical questions of geographical delimitings and placed in countries of scanty economic resources. And certainly salesmen technologically speaking about the superpowers, as well as the appearance of terrorist movements organized worldwide and endowed with sufficient support and infrastructure as to accede to technology with destructive important capacity, they make consider the experts and political officers to be the need and the usefulness of supporting structures of the Civil Defense capable of giving response to this type of incidents.

The present doctoral thesis possesses two fundamental assignments to assemble in the unique document the basic information relative to the possible use, consequences and way of acting for the Civil Defense in case of the utilization of weapon NBQ from any origin, including an exhaustive study of bibliographical references and additional sources of information and the second assignment that is the practical application in the city of Valencia of an analytical instrument capable of predicting and estimating the consequences of the use of one of this weapon on the civil population, concretely would treat itself about the use on the part of a terrorist group of a " dirty bomb " Composed by conventional explosives and a radioactive source of sanitary origin of Co60. For this simulation, there are in use systems and codes developed by the Federal Agencies of the United States of America and specializing international organizations.



## EXTRACTE

Les actuals circumstàncies sobre la política internacional, en els seus aspectes estratègics militars en què fonamentalment han pesat la desaparició de la Unió Soviètica i el seu Pacte de Varsòvia, que va sorgir com a rèplica en el seu dia a la creació d'una Aliança Defensiva Occidental denominada Organització de l'Atlàntic Nord (OTAN), pareixen suggerir l'eliminació del risc de conflictes bèl·lics a grans escales amb la consegüent utilització de l'alta tecnologia armamentística desenvolupada als efectes. Però d'altra banda, la situació actual infestada de conflictes locals d'origen ètnic en molts casos, en altres casos deguts a qüestions històriques de delimitacions geogràfiques i situats en països d'escassos recursos econòmics i per descomptat dependents tecnològicament parlant de les superpotències, així com l'aparició de moviments terroristes organitzats a nivell internacional i dotats de suficient suport i infraestructura com per a accedir a tecnologia amb capacitat destructiva important, fan considerar els experts i responsables polítics la necessitat i la utilitat de mantindre estructures de la Defensa Civil capaç de donar resposta a este tipus d'incidents.

La present tesi doctoral posseïx dos cometes fonamentals reunir en un document únic la informació bàsica relativa al possible ús, conseqüències i forma d'actuar per a la Defensa Civil en cas de la utilització d'armes NBQ des de qualsevol origen, incloent un exhaustiu estudi de referències bibliogràfiques i fonts d'informació addicionals i un segona comesa que és l'aplicació pràctica en la ciutat de València d'un instrument analític capaç de predir i estimar les conseqüències de l'ús d'una d'estes armes sobre la població civil, concretament es tractaria de l'ús per part d'un grup terrorista d'una "bomba bruta" composta per explosius convencionals i una font radioactiva de procedència sanitària de CO60. Per a esta simulació, s'utilitzen sistemes i codis desenvolupats per les Agències Federals dels Estats Units d'Amèrica i organismes Internacionals especialitzats.



INDICE GENERAL

<b>OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA TESIS</b>	<b>1</b>
<b>1. CAPITULO I:</b>	<b>3</b>
1.1.1. Antecedentes históricos	3
<b>2. CAPITULO II:</b>	<b>5</b>
2.1.1. Introducción	5
2.1.2. Estado del Arte	7
<b>3. CAPITULO III: MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>10</b>
3.1. Escenario simulado	10
3.2. La fuente radiactiva	11
3.3. El transporte y la ocultación	12
3.4. Bombas sucias	13
3.4.1. Definición bomba sucia	13
3.4.2. Antecedentes	13
3.4.3. Fuentes radiactivas	14
3.4.4. Características	14
3.4.5. Efectos	14
3.4.5.1.1. Económicos y psicológicos	15
3.4.5.1.2. Biológicos	15
3.4.5.1.3. Políticos	16
3.4.6. Dispersión del material	17
3.5. Propiedades físicas de la fuente radiactiva	17
3.6. Cálculo de blindajes para el transporte	19
3.6.1. Rad Pro Calculator ©	19
3.6.2. Micro Shield ©	22
3.6.3. Los datos suministrados para el blindaje han sido los siguientes	26
3.6.3.1.1. Los datos de la fuente radiactiva	26
3.6.3.1.2. Los datos del blindaje	26
3.7. El sistema de simulación (Hotspot ©)	26
3.7.1. Librería de radionucleidos	27
3.7.2. Las salidas del Hotspot	27
3.7.3. Levantamiento de mapas geográficos	27
3.7.4. Los contornos de la pluma (penacho)	27
3.7.5. Validación del Hotspot	28
3.7.6. Verificación	28
3.7.7. Exactitud	28
3.7.8. Desarrollo del Hotspot	29
3.7.9. Glosario de términos usados en el Hotspot	29
3.7.10. Sumario de entradas del programa	30
3.7.11. Sumario de salidas del programa	31
3.7.12. Factores de conversión para dosis agudas	31
3.7.13. Exposición aguda a la radiación	33
3.7.14. Diámetro aerodinámico	33
3.7.15. Aerosol	33
3.7.16. Fracción aerotransportada	34
3.7.17. Fracción respirable	34
3.7.18. Clasificación de Estabilidad Atmosférica	34
3.7.18.1.1. Peor caso de estabilidad	34
3.7.18.1.2. Estabilidad especial G	34
3.7.19. Condiciones meteorológicas usadas en el Hotspot para definir la categoría de estabilidad atmosférica, A-F	35
3.7.20. Modelo Gaussiano de dispersión	35
3.7.20.1.1. La ecuación Gaussiana	35
3.7.20.1.2. La variante ISC de la EPA	36
3.7.20.1.3. Correcciones de Schulman-Scire y Curvas de Pasquill-Gifford	37
3.7.20.1.4. Correcciones de Huber y Sinder	37
3.7.20.1.5. Correcciones de Horst	38
3.7.21. El modelo Gaussiano usado en el Hotspot	39
3.7.21.1.1. Agotamiento del penacho	40
3.7.21.1.2. Subida de la pluma	41
3.7.21.1.3. Altura de la capa de inversión	43
3.7.21.1.4. Clasificación de la dilución pulmonar D, W, Y y F, M, S	43
3.7.21.1.5. Tamaños de partículas y distribución	43

3.7.21.1.6. Determinación de $\sigma_y$ y $\sigma_z$	44
3.7.21.1.7. Geometrías de emisión	46
3.7.21.1.8. Conversión de unidades (librerías)	47
3.7.21.1.9. Resuspensión	47
3.7.21.1.10. Tiempo de muestreo	48
3.7.21.1.11. Equivalente TNT	49
3.7.21.1.12. Variación de la velocidad del viento con la altura	49
3.7.21.1.13. Velocidad de deposición	49
3.7.21.1.14. Exposición por inhalación a la pluma	50
3.7.21.1.15. Dosificación Eficaz (ECt)	51
3.7.21.1.16. Dosis Eficaz	51
3.7.22. Nomenclatura utilizada en las Guías para Acciones Protectoras (Protective Action Guides (PAGs) ) Agencia Federal de Emergencias-EPA (EE.UU.)	51
3.7.22.1.1. Fase temprana	51
3.7.22.1.2. Fase intermedia	52
3.7.22.1.3. Ingestión PAGs	52
3.7.22.1.4. Dosis de radiación efectos sobre la salud	52
3.7.22.1.5. Efectos estocásticos y Deterministas	53
3.7.22.1.6. Síndrome agudo de radiación	53
3.7.22.1.7. Efectos sobre la salud de los efectos estocásticos ( Cáncer)	54
3.7.22.1.8. Dosis Absorbida	54
3.7.22.1.9. Tasa de Dosis	54
3.7.22.1.10. El tipo de Radiación	54
3.7.23. Otros tipo de definición de dosis utilizados en el Hotspot	55
3.7.24. Sistema de evaluación del riesgo radiobiológico	56
4. CAPITULO IV: RESULTADOS	69
Introducción	69
4.1.1. Escenario I	73
4.1.1.1. Elección de modelo, explosión	73
4.1.1.2. Entrada de parámetros término fuente	73
4.1.1.3. Valores de los factores de conversión a dosis por inhalación	74
4.1.1.4. Valores de los factores de conversión a dosis por submersión	75
4.1.1.5. Factores de conversión a dosis por exposición procedente del suelo contaminad	75
4.1.1.6. Datos meteorológicos	76
4.1.1.7. Posiciones en la dirección del viento en las que se estiman las lecturas de exposiciones	77
4.1.1.8. Parámetros de cálculo	77
4.1.1.9. Selección del tipo de salida de resultados	78
4.1.1.10. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	78
4.1.1.11. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	83
4.1.1.12. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	84
4.1.1.13. Pluma de la exposición, de isoexposición (TEDE en Sv)	85
4.1.1.14. Pluma exposición TEDE sobre Valencia	86
4.1.1.15. Distribuciones de la contaminación superficial	86
4.1.1.16. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	87
4.1.1.17. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión	87
4.1.2. Escenario II	88
4.1.2.1. Parámetros de cálculo explosión (suelo radiante)	88
4.1.2.2. Pluma de la exposición, de isoexposición (TEDE en Sv)	88
4.1.2.3. Pluma exposición TEDE sobre Valencia	89
4.1.2.4. Distribuciones de la contaminación superficial	89
4.1.2.5. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	90
4.1.2.6. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	90
4.1.2.7. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	91
4.1.2.8. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	91
4.1.2.9. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión	96
4.1.3. Escenario III	97
4.1.3.1. Selección del modelo (resuspensión)	97
4.1.3.2. Datos del término fuente	97
4.1.3.3. Parámetros de cálculo	97
4.1.3.4. Condiciones metereológicas	97
4.1.3.5. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	98
4.1.3.6. Isoexposición (TEDE en Sv)	98
4.1.3.7. Isoexposición sobre la ciudad de Valencia (TEDE en Sv)	99
4.1.3.8. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	99

## Índice General

---

4.1.4. Escenario IV	100
4.1.4.1. Selección del término fuente (explosión)	100
4.1.4.2. Selección parámetros cálculo (con lluvia)	100
4.1.4.3. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	101
4.1.4.4. Isoexposición (TEDE en Sv)	101
4.1.4.5. Distribuciones de la contaminación superficial	102
4.1.4.6. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	102
4.1.4.7. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	103
4.1.4.8. Isoexposición sobre la ciudad de Valencia (TEDE en Sv)	103
4.1.4.9. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	104
4.1.5. Escenario V	104
4.1.5.1. Selección de datos metereológicos (inestabilidad atmosférica)	104
4.1.5.2. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	105
4.1.5.3. Isoexposición (TEDE en Sv)	105
4.1.5.4. Distribuciones de la contaminación superficial	106
4.1.5.5. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	107
4.1.5.6. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	107
4.1.5.7. Pluma exposición TEDE sobre Valencia	108
4.1.5.8. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	108
4.1.6. Escenario VI	109
4.1.6.1. Selección de datos metereológicos (viento rápido)	109
4.1.6.2. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	109
4.1.6.3. Isoexposición (TEDE en Sv)	110
4.1.6.4. Distribuciones de la contaminación superficial	110
4.1.6.5. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	111
4.1.6.6. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	111
4.1.6.7. Pluma exposición TEDE sobre Valencia	112
4.1.6.8. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	112
4.1.7. Escenario VII	113
4.1.7.1. Selección de datos termino fuente (gran magnitud)	113
4.1.7.2. Datos metereológicos	113
4.1.7.3. Datos de cálculo	113
4.1.7.4. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	114
4.1.7.5. Isoexposición (TEDE en Sv)	114
4.1.7.6. Distribuciones de la contaminación superficial	115
4.1.7.7. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	115
4.1.7.8. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	116
4.1.7.9. Pluma exposición TEDE sobre Valencia	116
4.1.7.10. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	117
4.1.7.11. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a al explosión	117
4.1.8. Escenario VIII	118
4.1.8.1. Selección de datos término fuente	118
4.1.8.2. Datos meteorológicos	118
4.1.8.3. Datos de cálculo	118
4.1.8.4. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos	119
4.1.8.5. Isoexposición (TEDE en Sv)	127
4.1.8.6. Distribuciones de la contaminación superficial	128
4.1.8.7. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	128
4.1.8.8. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	129
4.1.8.9. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a al explosión	129
4.1.9. Escenario IX	130
4.1.9.1. Selección del término fuente	130
4.1.9.2. Datos meteorológicos	130
4.1.9.3. Datos de cálculo	130
4.1.9.4. Isoexposición (TEDE en Sv)	131
4.1.9.5. Dsistribuciones de la contaminación superficial	131
4.1.9.6. Gráfico continuo de la TEDE en Sv	132
4.1.9.7. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	132
4.1.9.8. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a al explosión	133
4.1.10 Aplicación al escenario II del simulador RASCAL	133
4.1.10.1 Estudio comparativo valores RASCAL/HOTSPOT (escenario II)	142

---

## Índice General

---

4.1.10.2 Resultados de la comparación RASCAL/HOTSPOT	143
4.2.1. Estimación de personas afectadas e inducción de cánceres	145
5. CAPITULO V: CONCLUSIONES	148
5.1. Resumen conclusiones resultado	148
5.2. Resuspensión	148
5.3. TEDE (dosis total efectiva)	148
5.4. Concentraciones	149
5.5. Estudio comparativo de los escenarios con cobalto y con cesio	150
5.6. Exceso en la probabilidad de inducción de cánceres	151
5.7. Conclusiones generales	151
5.8. Líneas futuras	154
6. ANEXOS	155
6.1. ANEXO I: ARMAS NUCLEARES	156
6.1.1. Armas nucleares principios físicos	156
6.1.2. Generalidades	156
6.1.3. Bombas de fusión	156
6.1.4. Física de armas de fisión	158
6.1.5. El proceso de fisión	159
6.1.6. Criticidad	160
6.1.7. Principios básicos del diseño de armas de fisión	162
6.1.8. Técnicas de armado	163
6.1.9. Implosión	163
6.1.10. Efectos de las explosiones nucleares	164
6.1.10.1.1. Radiación/efecto térmico	165
6.1.10.1.2. Onda de choque	166
6.1.10.1.3. Pulso electromagnético	167
6.1.10.1.4. Temblores de tierra	168
6.1.10.1.5. Efectos globales de una guerra nuclear	170
6.1.10.1.5.1. hipótesis de trabajo	170
6.1.10.1.5.1.2. Repercusión de los efectos primarios	173
6.1.10.1.5.1.3. El invierno nuclear	175
6.1.10.1.5.1.4. Además del frío y la oscuridad	177
6.1.10.1.5.1.5. La lluvia de polvo radiactivo	178
6.1.10.1.5.1.6. Los supervivientes	179
6.1.10.1.5.1.7. Resumen de efectos en caso de guerra nuclear de 5.000 Mt	182
6.1.11. Equipos para dispersión de materiales radiactivos o armas nucleares asimétricas	184
6.1.11.1.1. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes	185
6.1.11.1.2. El tratamiento de irradiados	187
6.1.11.1.3. Daños mecánicos	187
6.1.11.1.4. Daños por calor	187
6.1.11.1.5. Daños oculares	188
6.1.11.1.6. Síndrome de irradiación crónica (SIC)	189
6.1.11.1.7. Efectos psicológicos	189
6.1.11.1.8. Contaminación externa	190
6.1.11.1.9. Contaminación interna	191
6.1.11.1.10. Dosimetría biológica	192
6.1.12. La descontaminación	193
6.1.12.1.1. Aspectos generales	193
6.1.12.1.2. Descontaminación de afectados	193
6.1.13. La instrumentación nuclear	194
6.1.14. Normas de la <u>Agencia Federal Para la Gestión de Emergencias (EE.UU.)</u>	196
6.1.14.1.1. Pulso Electromagnético	197
6.1.14.1.2. Qué hacer antes de un ataque nuclear o radiológico	198
6.1.14.1.3. Qué hacer durante un ataque nuclear o radiológico	199
6.1.14.1.4. Qué hacer después de un ataque nuclear o radiológico	199
	200

---



---

6.1.14.1.5. Volviendo a su casa	
6.1.15. Ejemplos de arsenales nucleares EE.UU/ antigua URSS	201
<b>6.2. ANEXO II: ARMAS QUIMICAS</b>	<b>204</b>
6.2.1. Definición	204
6.2.2. Generalidades	204
6.2.3. Clasificaciones de los agresivos químicos	207
6.2.4. Clasificación militar	208
6.2.4.1.1. Agentes vesicantes	208
6.2.4.1.2. Agentes hemotóxicos	208
6.2.4.1.3. Agentes sofocantes	208
6.2.4.1.4. Agentes nerviosos	208
6.2.4.1.5. Agentes incapacitantes	209
6.2.4.1.6. Agentes fumígenos	209
6.2.4.1.7. Incendiarios	210
6.2.5. Detección e identificación de agentes químicos	211
6.2.6. Métodos de detección y de identificación	212
6.2.6.1.1.1.1. Métodos subjetivos	213
6.2.6.1.1.1.2. Detección por sus efectos inmediatos sobre el organismo	214
6.2.6.1.1.1.3. Métodos objetivos de detección e identificación	214
6.2.6.1.1.1.3.1.1. Métodos físico-químicos	214
6.2.6.1.1.1.3.1.2. Espectrofotometría de llama	214
6.2.6.1.1.1.3.1.3. Reacción química con una enzima	215
6.2.6.1.1.1.3.1.4. Por ionización	215
6.2.6.1.1.1.3.1.5. Detectores de estado sólido	216
6.2.6.1.1.1.3.1.6. Sensores electroquímicos	216
6.2.6.1.1.1.3.1.7. Métodos químicos	217
6.2.6.1.2. Protección individual y colectiva contra los agresivos químicos	217
6.2.6.1.3. Protección de vías respiratorias	218
6.2.6.1.3.1.1. Tipos de máscaras	218
6.2.6.1.3.1.1.1.1. Mascara antigas	218
6.2.6.1.3.1.1.1.2. Filtros de aire	219
6.2.6.1.3.1.1.1.3. Filtro HEPA o ULPA	220
6.2.6.1.3.1.1.1.4. Filtro de carbón activo	220
6.2.6.1.3.1.2. Equipos autónomos	221
6.2.6.1.4. Trajes de protección	222
6.2.6.1.4.1.1. Traje hermético	222
6.2.6.1.4.1.2. Traje impermeable contra salpicaduras	223
6.2.6.1.4.1.3. Traje de protección permeable al aire	223
6.2.6.1.5. Consideraciones sobre el material de protección	223
6.2.6.1.6. Recomendación del empleo de equipos OPCW	224
6.2.7. Aspectos sanitarios destacables a considerar en los agresivos químicos, asistencia en primera intervención	225
6.2.8. Agentes hemotóxicos no persistentes (NPB en terminología militar)	225
6.2.9. Agentes nerviosos no persistentes (NPN)	226
6.2.10. Agentes nerviosos persistentes (PN)	226
6.2.11. El caso del Cianuro de hidrógeno	227
6.2.12. En el caso de las arsinas	227
6.2.13. Agentes sicógenos	228
6.2.14. Agentes vesicantes, mostaza sulfuro y nitrógeno	228
6.2.15. Agentes vesicantes persistentes (PX)	230
6.2.16. La gestión sanitaria general de la contaminación química	230
<b>6.3. ANEXO III: ARMAS BIOLÓGICAS</b>	<b>233</b>
6.3.1. Introducción	233
6.3.2. Los agentes biológicos como armas de guerra	234
6.3.3. Requisitos de un Agente Biológico para ser de valor militar	235
6.3.4. Métodos de ataque	235
6.3.5. Los Misiles Crucero con Armas Biológicas (LACM con cargas BW), una nueva amenaza	236
6.3.6. Misiles crucero para ataque a tierra: Fundamentos	238
6.3.7. Conclusiones del uso de LACM con cargas BW	245

---

## Índice General

---

6.3.8. Efectos de las condiciones climáticas en el uso de armas biológicas (BW)	246
6.3.9. Las características de los Agentes Biológicos más utilizados	248
6.3.10. Entrada al organismo	249
6.3.11. Tipos de agentes biológicos	251
6.3.11.1.1. Enfermedades producidas por Bacterias	251
6.3.11.1.1.1. Antrax o Carbunco	251
6.3.11.1.1.2. Brucelosis	252
6.3.11.1.1.3. Peste bubónica	253
6.3.11.1.1.4. Peste pulmonar	253
6.3.11.1.1.5. Tularemia	253
6.3.11.1.2. Enfermedades producidas por Rickettsias	254
6.3.11.1.2.1.1. Tifus	254
6.3.11.1.2.1.2. Tifus exantemático	254
6.3.11.1.2.1.3. Fiebre de las montañas Rocosas	255
6.3.11.1.2.1.4. Fiebre Q	255
6.3.11.1.3. Enfermedades producidas por virus	256
6.3.11.1.3.1.1. Fiebre Dengue	256
6.3.11.1.3.1.2. Viruela	256
6.3.11.1.3.1.3. Fiebre amarilla	257
6.3.11.1.3.1.4. Encefalitis Estival-Primaveral Rusa (RSSE)	257
6.3.11.1.3.1.5. Fiebre Chikungunya	257
6.3.11.1.3.1.6. Fiebre del Valle del Rift (RVF)	257
6.3.11.1.3.1.7. Gripe	258
6.3.11.1.4. Enfermedades producidas por hongos	258
6.3.11.1.4.1.1. Coccidioidomycosis	258
6.3.11.1.5. Enfermedades producidas por Protozoos	258
6.3.11.1.5.1.1. Malaria (paludismo)	258
6.3.11.1.6. Enfermedades producidas por toxinas	258
6.3.11.1.6.1.1. Botulismo	258
6.3.11.1.7. Agentes Antivegetales	259
6.3.12. Métodos de diseminación de los agentes biológicos	259
6.3.12.1.1. Diseminación en forma de aerosoles	259
6.3.12.1.2. Factores de los que depende la estabilidad del agresivo diseminado como aerosol.	260
6.3.12.1.3. Diseminación de agresivos biológicos por agentes vectores	262
6.3.12.1.4. Características generales de los agentes vectores	263
6.3.13. EL Agroterrorismo, una nueva forma del uso de las armas biológicas	263
6.3.14. Defensa biológica, predicción, detección, identificación, sistemas de protección, descontaminación	266
6.3.14.1.1. Defensa contra agentes biológicos	266
6.3.14.1.2. Contramedidas contra ataques de Agentes Biológicos	267
6.3.14.1.2.1.1. Profilaxis	267
6.3.14.1.2.1.2. Protección física	268
6.3.14.1.3. Descontaminación y control de zonas	269
6.3.14.1.4. Detección e identificación de agresivos biológicos	270
6.3.14.1.5. Resumen	272
6.3.15. La Convención sobre Armas Biológicas (BWC)	273
6.3.16. Normas FEMA Departamento de Seguridad Nacional EE.UU ataques terroristas con armas químicas y biológicas	274
6.4. ANEXO IV: METEOROLOGÍA, OROGRAFÍA, VEGETACIÓN Y OTROS ASPECTOS INFLUYENTES EN LA DISPERSIÓN Y PERSISTENCIA DE LA CONTAMINACIÓN	281
6.4.1. Breve introducción a la meteorología	281
6.4.1.1.1. Meteorología	281
6.4.1.1.2. Clasificación de los fenómenos meteorológicos por su naturaleza	281
6.4.1.1.2.1.1. Hidrometeoros	281
6.4.1.1.2.1.2. Fotometeoros	281
6.4.1.1.2.1.3. Electrometeoros	281
6.4.1.1.3. Atmósfera	282
6.4.1.1.4. Estratosfera	282
6.4.1.1.5. Exosfera	282
6.4.1.1.6. Radiación	282
6.4.2. Un método práctico y sin necesidad de instrumental para predecir las condiciones meteorológicas	283
6.4.3. Imágenes de sistemas nubosos	284
6.4.4. La dispersión de contaminantes en la atmósfera	284
6.4.5. El Gradiente de Temperatura	285
6.4.5.1.1. Gradiente positivo	285

---

## Índice General

---

6.4.5.1.2. Gradiente negativo	286
6.4.5.1.3. Gradiente neutro	286
6.4.5.1.4. Influencia del viento en el Gradiente de Temperatura	286
6.4.6. El viento	287
6.4.6.1.1. Factores que influyen en la dirección del viento	287
6.4.6.1.1.1. La topografía natural del terreno	288
6.4.6.1.1.2. La topografía artificial del terreno	288
6.4.6.1.1.3. La presencia de importantes cantidades de agua	288
6.4.6.1.1.4. La topografía natural del terreno, montañas	288
6.4.6.1.1.5. Zonas con bosques	289
6.4.7. La humedad ambiental	289
6.4.8. La temperatura ambiente	290
6.4.9. Los efectos combinados del viento y el estado atmosférico sobre las nubes de contaminantes	291
6.4.10. Los efectos de la naturaleza del suelo en la contaminación	291
6.4.11. Los efectos de la vegetación	291
6.4.12. La medición de los parámetros atmosféricos	292
6.4.13. La dispersión en medios urbanos	293
6.4.14. La información meteorológica suministrada al simulador	294
<b>6.5. ANEXO V: CONTROL Y DELIMITACIÓN DE ZONAS CONTAMINADAS</b>	<b>301</b>
6.5.1. Aspectos generales	301
6.5.2. Plan de monitorización	301
6.5.3. Rutas de monitorización	303
6.5.4. Equipo de monitorización	303
6.5.5. Delimitación y señalización de zonas contaminadas	304
6.5.6. Descontaminación química	305
6.5.7. Normas generales para la descontaminación	306
6.5.8. Métodos de descontaminación	308
6.5.9. Descontaminantes químicos	309
6.5.10. Productos descontaminantes químicos	310
6.5.10.1.1. Cloruro de cal industrial	310
6.5.10.1.2. Solución de DANC	311
6.5.10.1.3. Alcalis	312
6.5.10.1.4. Hipoclorito sódico	312
6.5.10.1.5. Cloro	312
6.5.10.1.6. Compuestos oxidantes	312
6.5.10.1.7. Agua	312
6.5.10.1.8. Vapor de agua	313
6.5.10.1.9. Combustión	313
6.5.10.1.10. Enterramientos	313
6.5.11. Modelo de base de descontaminación de campaña	313
<b>6.6. ANEXO VI: REFUGIOS NUCLEARES-BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS</b>	<b>317</b>
6.6.1. Consideraciones generales sobre Refugios NBQ	317
6.6.2. Equipamiento del refugio para la supervivencia	318
6.6.3. Tipos de refugios	320
6.6.4. Equipamiento tecnológico	320
6.6.5. Clasificación y justificación de los refugios	322
6.6.6. Planificación de un refugio colectivo NBQ tipo	323
6.6.7. Adecuación de edificios a refugios	326
6.6.8. Refugios restringidos	327
6.6.9. Sistemas de comunicaciones	328
6.6.10. Recomendaciones generales	328
6.6.11. Refugios improvisados	328
6.6.12. Técnicas de construcción específicas para refugios	329
<b>6.7. ANEXO VII: TRANSPORTES Y SU USO EN CONDICIONES DE DEFENSA NBQ</b>	<b>333</b>
6.7.1. Aspectos generales	333
6.7.2. Los transportes terrestres	334
6.7.2.1.1. Adecuación de los transportes terrestres	336
6.7.3. Formación de pilotos/conductores	336
6.7.4. Transportes aéreos	337
6.7.5. Los transportes marítimo-fluviales	339
<b>6.8. ANEXO VIII: PROTOCOLO DE ACTUACIONES EN INCIDENTES RADIOLÓGICOS CON BOMBAS SUCIAS Y MANUALES DE LAS GUÍAS PARA ACCIONES PROTECTORAS EN INCIDENTES NUCLEARES</b>	<b>342</b>

---

## *Índice General*

---

6.8.1. Protocolo de actuaciones en incidentes radiológicos con bombas sucias	342
6.8.2. Ejemplo para aplicación del protocolo	344
6.8.3. Manuales de las guías para acciones protectoras en incidentes nucleares (PAGs)	345
6.8.3.1. Respuesta Fase Inicial	349
6.8.3.2. La evacuación	350
6.8.3.3. El refugio	350
6.8.3.4. Respuesta Fase Intermedia	351
6.8.3.5. La Relocalización	353
6.8.3.6. Control de la contaminación superficial	354
6.8.3.7. Controles sobre el agua potable	354
6.8.3.8. Control sobre alimentos	355
6.8.3.9. Respuesta Fase Final	355
6.8.4. Otras recomendaciones PAGS	356
7. BIBLIOGRAFÍA	357

## LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla	2.1.1.1	Comparación de efectos del armamento NBQ	6
Figura	3.5.1.1	Cadena desintegración Co60	17
Figura	3.5.1.2	Ficha de seguridad del Co60	18
Figura	3.5.1.3	Espectro de emisión del Co60	19
Figura	3.6.1.1	Cálculo de blindajes del Radprocalculator®	21
Figura	3.6.1.2	Cálculo de blindajes del Radprocalculator®	21
Figura	3.6.1.3	Cálculo de blindajes del Radprocalculator®	22
Tabla	3.6.1.1	Tasas de exposición en función del blindaje Radprocalculator®	22
Figura	3.6.2.1	Cálculo de blindajes del Microshield®	23
Figura	3.6.2.2	Cálculo de blindajes del Microshield®	24
Figura	3.6.2.3	Cálculo de blindajes del Microshield®	24
Figura	3.6.2.4	Cálculo de blindajes del Microshield®	25
Figura	3.6.2.5	Cálculo de blindajes del Microshield®	25
Tabla	3.7.12.1	Clasificación de efectos agudos/tempranos en función de la dosis y del órgano expuesto	32
Tala	3.7.12.2	Ejemplo de dosis a órganos a una determinada distancia y las diferentes vías de exposición	32
Tabla	3.7.15.1	Ejemplo de diámetros de partículas en suspensión, altura de dispersión y tiempo de caída	33
Tabla	3.7.19.1	Condiciones meteorológicas y estabilidad atmosférica	35
Tabla	3.7.20.1.2.	1 Valores de p para el cálculo del perfil de velocidad	36
Tabla	3.7.20.1.3.1	Parámetros usados para calcular $\sigma_y$ , Pasquill-Gilford	37
Figura	3.7.21.1	El sistema de coordenadas del Hotspot	39
Figura	3.7.21.1.5.1	Diámetro aerodinámico en $\mu\text{m}$ .	44
Figura	3.7.21.1.7.1	Fuente de emisión superficial a nivel del suelo	46
Figura	3.7.21.1.7.2	Fuente de emisión superficial elevada sobre el suelo	46
Figura	3.7.21.1.7.3	Fuente lineal sobre el suelo	47
Figura	3.7.21.1.9.1	Modelo geométrico de la resuspensión	47
Tabla	3.7.21.1.14.1	Factores de peso, publicación ICRP 26 e ICRP 60	50
Tabla	3.7.24.1	Factores de riesgo ICRP 60	58
Tabla	3.7.24.2	Exceso promedio absoluto del riesgo EAR para inducción de cáncer ( $10^4 \text{ PYSv}^{-1}$ )	64
Tabla	3.7.24.3	Parámetros para la estimación del EAR para leucemias propuesto por el Comité BEIR VII	65
Tabla	3.7.24.4	Línea base en la tasa de incidencia $\lambda_{in}$ de cánceres de piel (melanomas), leucemias y otros cánceres no sólidos por 100000 PY en la Comunidad Valencina (2005)	65
Figura	3.7.24.1	Estudio de cohortes (Life Spam Study)	66
Tabla	3.7.24.5	Resultado simulador WISE-URANIUM®/RADRISK® por escenario	67
Tabla	3.7.24.6	Resultado simulador WISE-URANIUM®/RADRISK® por TEDE Escenario I	67
Figura	4.1.1.3	Valores de los factores de conversión a dosis por inhalación	74
Figura	4.1.1.4	Valores de los factores de conversión a dosis por sumersión	75
Figura	4.1.1.5	Factores de conversión a dosis por exposición procedente del suelo contaminado	76
Figura	4.1.1.11	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	84
Figura	4.1.1.12	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo ( $\text{KBq/m}^2$ )	84
Figura	4.1.1.13	Pluma de la exposición, de isoexposición (TEDE en Sv)	85
Figura	4.1.1.14	Pluma exposición TEDE sobre Valencia	86
Figura	4.1.1.15	Distribuciones de la contaminación superficial	86
Figura	4.1.1.16	Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia Escenario II	88
Figura	4.1.2.2	Pluma de la exposición,de isoexposición (TEDE en Sv)	88
Figura	4.1.2.3	Pluma exposición TEDE sobre Valencia	89
Figura	4.1.2.4	Distribuciones de la contaminación superficial	89
Figura	4.1.2.5	Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia	90

Listado de Tablas y figuras

Figura	4.1.2.6	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	90
Figura	4.1.2.7	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> ) Escenario III	91 97
Figura	4.1.3.6	Isoexposición (TEDE en Sv)	98
Figura	4.1.3.7	Isoexposición sobre la ciudad de Valencia (TEDE en Sv)	99
Figura	4.1.3.8	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv Escenario IV	99 100
Figura	4.1.4.4	Isoexposición (TEDE en Sv)	101
Figura	4.1.4.5	Distribuciones de la contaminación superficial	102
Figura	4.1.4.6	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	102
Figura	4.1.4.7	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	103
Figura	4.1.4.8	Isoexposición sobre la ciudad de Valencia (TEDE en Sv)	103
Figura	4.1.4.9	Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia Escenario V	104 104
Figura	4.1.5.3	Isoexposición (TEDE en Sv)	105
Figura	4.1.5.4	Distribuciones de la contaminación superficial	106
Figura	4.1.5.5	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	107
Figura	4.1.5.6	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	107
Figura	4.1.5.7	Pluma exposición TEDE sobre Valencia	108
Figura	4.1.5.8	Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia Escenario VI	108 109
Figura	4.1.6.3	Isoexposición (TEDE en Sv)	110
Figura	4.1.6.4	Distribuciones de la contaminación superficial	110
Figura	4.1.6.5	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	111
Figura	4.1.6.6	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	111
Figura	4.1.6.7	Pluma exposición TEDE sobre Valencia	112
Figura	4.1.6.8	Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia Escenario VII	112 113
Figura	4.1.7.5	Isoexposición (TEDE en Sv)	114
Figura	4.1.7.6	Distribuciones de la contaminación superficial	115
Figura	4.1.7.7	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	115
Figura	4.1.7.8	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	116
Figura	4.1.7.9	Pluma exposición TEDE sobre Valencia	116
Figura	4.1.7.10	Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia Escenario VIII	117 118
Figura	4.1.8.5	Isoexposición (TEDE en Sv)	127
Figura	4.1.8.6	Distribuciones de la contaminación superficial	128
Figura	4.1.8.7	Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv	128
Figura	4.1.8.8	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> ) Escenario IX	129 130
Figura	4.1.9.4	Isoexposición (TEDE en Sv)	131
Figura	4.1.9.5	Distribuciones de la contaminación superficial	131
Figura	4.1.9.6	Gráfico continuo de la TEDE en Sv	132
Figura	4.1.9.7	Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m <sup>2</sup> )	132
Figuras	4.1.10	Aplicación al escenario II del simulador RASCAL	133/141
Tabla	4.1.10.1	Estudio comparativo valores RASCAL/HOTSPOT (escenario II)	142
Tablas	4.2.1	Estimación de personas afectadas e inducción de cánceres	145/147
Tabla	5.7.1	Resumen del escenario elegido (EII)	152
Tabla	5.7.2	Resumen de todos los datos mas significativos de todos los escenarios	153

---

## OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente tesis doctoral posee dos cometidos fundamentales, el primero es la aplicación práctica en la ciudad de Valencia de un instrumento analítico capaz de predecir y estimar las consecuencias del uso de una de estas armas sobre la población civil y el segundo reunir en un documento único la información básica relativa al posible uso, consecuencias y forma de actuar para la Defensa Civil en caso de la utilización de armas NBQ (Nucleares, Biológicas y Químicas) desde cualquier origen, incluyendo un exhaustivo estudio de referencias bibliográficas y fuentes de información adicionales.

El trabajo tiene como objetivo final, ser un manual de información-formación teórico-práctico para aquellos responsables de actuaciones en materia de Defensa Civil NBQ.

Para alcanzar los objetivos planteados, la tesis se estructura de la manera siguiente:

Capítulo I, los antecedentes históricos del uso de este tipo de armas, en este capítulo, se hace un breve repaso histórico que demuestra el que el uso de algunas de estas armas de destrucción masiva, han sido utilizadas desde la antigüedad y como su sofisticación y uso se ha incrementado a lo largo de la historia moderna.

Capítulo II, Introducción y el denominado “Estado del Arte”, se plantea de manera resumida, cuales son los posibles orígenes y las posibles aplicaciones actuales de este tipo de armamentos NBQ en conjunto según los objetivos perseguidos.

El capítulo III (Material y Métodos) describe el supuesto práctico escogido sobre la ciudad de Valencia, que incluirá el material y los métodos. Se trata de evaluar las consecuencias en la ciudad de un ataque terrorista con una “bomba sucia”, suceso que será simulado y evaluado mediante un sistema homologado por las Agencias Federales de los EE.UU.

El capítulo IV, expondrá los resultados con valores de distribución de dosis, contaminaciones y análisis de víctimas localizados por zonas.

El capítulo V, expondrá las conclusiones aplicables al suceso planteado.

El listado de tablas y figuras del cuerpo de la Tesis, y al final del documento una abundante relación de citas bibliográficas y otras fuentes de información distribuidas por capítulos, consultadas para la elaboración del mismo.

Anexo I, las armas nucleares, que incluyen las bombas radiológicas.

Anexo II, las armas químicas, se incluye comentarios sobre la Convención de Armas Químicas y el control de arsenales.

Anexo III, las armas biológicas, se incluyen comentarios sobre el tratado de control de armas biológicas y el agroterrorismo.

---

Anexo IV da una información básica de todos aquellos fenómenos naturales que influyen, como y en que forma en la dispersión de los agentes contaminantes. Estos fenómenos se refieren concretamente a fenómenos meteorológicos, orográficos, etc.

Anexo V se desarrollan aspectos generales para el control y delimitación de zonas contaminadas con cualquier agente NBQ, se detallan aspectos tales como los equipos de trabajo, señalización, desplazamientos, comunicaciones, logística de operaciones, etc., seguidamente se exponen temas específicos de la descontaminación contra agresivos químicos, con detalle de los productos y técnicas a utilizar. Por último se propone un diseño propuesto por el autor de la tesis, para el establecimiento de una Base para Descontaminación NBQ móvil o de campaña (BDNBQM).

Anexo VI se hace un estudio de cuales son las características generales que deben reunir los refugios NBQ, se detallan recomendaciones efectuadas por organismos dedicados a la defensa civil y normalización de equipos. En este capítulo se hace una propuesta del autor de cómo debería planificarse la ejecución y operatividad de un refugio NBQ, detallando en el mismo cuestiones funcionales, de organización, de procedimientos, equipamientos y otras cuestiones de interés.

Anexo VII trata como aportación propia del autor el estudio relativo al transporte y adaptación de sistemas de transporte a las condiciones de guerra o ataques NBQ, se detallan en cada uno de los tipos de transportes terrestres, aéreos o marítimos-fluviales cuestiones técnicas de interés relativas a las adaptaciones técnicas de vehículos, sistemas de conducción.

Anexo VIII se compone de una primera parte en la que se desarrolla el denominado como **Protocolo de actuaciones en incidentes radiológicos con bombas sucias** desarrollado por el autor de la tesis como elemento práctico para la gestión de la crisis. La segunda parte de este anexo, se trata de la exposición resumida de los **Manuales de las guías para acciones protectoras en incidentes nucleares (PAGs) (PAGs, 1975)**



## CAPITULO I: ANTECEDENTES HISTÓRICOS

### 1.1.1. Antecedentes históricos

La utilización de armas “envenenadas” ya se utilizaban en la antigüedad y en la edad media para hacer mas mortíferas las consecuencias de flechas, lanzas y similares cuando estas se impregnaban con sustancias vegetales o de fabricación humana que provocaban en la zona de impacto del cuerpo enemigo heridas por incisión-contusión, seguidas de virulentos procesos infecciosos o inflamatorios muy dolorosos y de difícil paliación. En el “Medioevo”, era típica la proyección de animales muertos en descomposición dentro de los recintos sitiados o sus abastecimientos de agua, con la finalidad de desencadenar enfermedades y ambientes insoportables para el enemigo. Todo estos sistemas básicos podrían ser considerados como los precursores del armamento biológico y químico (BQ).

De 1675 se data el primer acuerdo conocido para la no utilización de venenos con fines bélicos, firmado entre Francia y Alemania en Estrasburgo. Durante los siguientes doscientos años, se desarrollaron diferentes tipos de armas químicas con resultados dramáticos sobre los campos de batalla, tales efectos propiciaron que en 1874, La Convención de Bruselas titulada como “ La Ley y Costumbres en la Guerra “, prohibía el uso de venenos y armas envenenadas, incluyendo proyectiles y materiales que causaran sufrimientos innecesarios en las víctimas. En 1899 La Conferencia Internacional de la Paz celebrada en la Haya, propicio la firma de un acuerdo que prohibía el uso de proyectiles rellenos de gas venenoso.

Durante la Primera Guerra Mundial, se hizo un extraordinario uso de las armas químicas como ocurrió en el campo de batalla de Ieper (Bélgica). Durante este conflicto se estima el uso de mas de cien mil toneladas de agresivos químicos (cloro, gas mostaza, fosgeno....) que provocaron mas de noventa mil muertos de manera directa y mas de un millón de afectados entre civiles y militares (SIPRI, 1997).



Soldados usando equipos BQ

Una vez mas, estos dramáticos resultados, propiciaron que en 1925, se firmara el “ Protocolo de Ginebra “ en el que se prohibía el uso de materiales asfixiantes, venenosos

u otros gases y métodos bacteriológicos en la guerra. Este Protocolo prohibía de manera expresa el uso de estos materiales, pero no afectaba a la producción, desarrollo y posesión de este tipo de armas, en parte esta situación se produjo por que muchos de los países signatarios, se reservaron el derecho al uso de estas armas contra terceros que las utilizaran en contra de ellos o sus aliados.



Víctima gaseada en el campo de batalla

Durante la Segunda Guerra Mundial, no se tiene constancia del uso de armamento BQ, aunque si sobre sus programas de investigación y existencia. Esta guerra y sus periodos posteriores descubrieron a la humanidad la terrible existencia y poder del armamento nuclear (N).

Durante los años sesenta, el Comité de Desarme de Ginebra, volvió a plantear la necesidad de establecer controles internacionales sobre el armamento BQ. En 1971-1972, se finalizo la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, Producción y Almacenamiento de armas Bacteriológicas y Tóxicas (convención conocida abreviadamente como BWC.) que entro en vigor durante 1975 (Cole,L.A, 1996). Durante los años 1970 al 1988, se tiene constancia en algunos casos y se especula en otros del uso de armas químicas en los conflictos de Laos, Kampuchea, Afganistán, la guerra Irán-Irak y la represión de los Kurdos en Irak.

Desde 1997, año en el que entro en funcionamiento la Organización para el Control de las Armas Químicas, se ha avanzado considerablemente en la destrucción de este tipo de armamento, llegándose aproximadamente en el año 2000 a la destrucción del 10% del material declarado como almacenado por los 151 países signatarios (SIPRI, 1997).



Soldado con equipo NBQ I Guerra Mundial

## CAPITULO II

### 2.1.1. Introducción

Las actuales circunstancias sobre la política internacional, en sus aspectos estratégicos militares en las que fundamentalmente han pesado la desaparición de la Unión Soviética y su Pacto de Varsovia, que surgió como réplica en su día a la creación de una Alianza Defensiva Occidental denominada Organización del Atlántico Norte (OTAN), parecen sugerir la eliminación del riesgo de conflictos bélicos a grandes escalas con la consecuente utilización de la alta tecnología armamentística desarrollada a los efectos. pero por otro lado, la situación actual plagada de conflictos locorregionales fraticidas de origen étnico en muchos casos, en otros casos debidos a cuestiones históricas de delimitaciones geográficas y situados en países de escasos recursos económicos y por supuesto dependientes tecnológicamente hablando de las superpotencias, así como la aparición de movimientos terroristas organizados a nivel internacional y dotados de suficiente apoyo e infraestructura como para acceder a tecnología con capacidad destructiva importante, hacen considerar a los expertos la necesidad y la utilidad de mantener vigente y actualizada las estructuras de defensas estratégicas (tal y como es el caso de la OTAN) y de mas bajo nivel (estados).

Es interesante basándose en aspectos tácticos y en la experiencia acumulada en fechas recientes, hacer especial énfasis, en que no es despreciable hoy en día la posibilidad de la utilización localizada de armamento nuclear básico con efectos disuasorios y de manera más general de armamento del tipo Biológico-Químico (BQ) (“Chemical Weapons in the Middle East”, 1992) utilizados en conflictos como la guerra de Vietnam, Etiopía, el conflicto de Irak, etc.

Este último tipo de ingenios, son relativamente sencillos de producir y de lanzar contra el objetivo utilizando medios de artillería, aviación o sistemas de minas cuasi-convencionales (Hogendoorn, E.J, 1997). Dadas estas características junto con la posibilidad en muchos casos de su producción utilizando recursos industriales existentes en los propios países, hacen que en la actualidad en muchos de estos, involucrados en los focos de desestabilización, existan almacenados importantes posibles arsenales de tipo BQ.

El tráfico internacional incontrolado de armamento puede hacer posible la llegada de material del descrito o incluso material nuclear de riesgo a manos del terrorismo internacional como se citó anteriormente, cuyos objetivos de actuación se sitúan en muchas ocasiones fuera de los propios países en conflicto. La utilización de ingenios BQ, pueden ser motivo de agresiones ocasionales a las poblaciones urbanas, tal y como ha ocurrido en los últimos tiempos con el gas Sarín en el metro de Tokio y el Ántrax en EE.UU.

El uso del armamento Nuclear-Biológico-Químico (NBQ) en sus diferentes grados de sofisticación, puede realizarse de manera y vía diversa en función del objetivo perseguido y posee una serie de características que le confiere un importante poder contra el objetivo ya sea civil o militar (Meselson, M, 1991). Entre sus características más notorias, están la de que pese a su diversidad de origen físico, sus consecuencias suelen ser muy homogéneas, lo que facilita su tratamiento globalizado, así como el que sus efectos son generalizados y de difícil predicción incluso para el agresor, estos efectos son retardados, acumulativos y dilatados en el tiempo y su uso surte un gran poder psicológico adverso sobre la población o el personal combatiente.

Por todo lo que antecede las diferentes autoridades nacionales e internacionales competentes en materia de seguridad disponen en la actualidad en sus departamentos militares o civiles, unidades destinadas específicamente a la Defensa NBQ. La presente tesis se elabora como un documento en el que se recogen todos los aspectos técnicos relevantes desde el punto de vista de la Defensa Civil NBQ derivada del uso táctico-estratégico o terrorista, sus consecuencias y la paliación de las mismas.

<b>Comparación de efectos del armamento NBQ</b>				
	<b>Convencional</b>	<b>Químico</b>	<b>Biológico</b>	<b>Nuclear</b>
<b>radio de acción</b>	- onda de choque - fragmentos	- lluvia - vapores - viento	- toxinas	- onda de choque - onda depresión - emisiones de $n^{\circ}$ , $\gamma$ - contaminación con radioisótopos - efectos térmicos - pulso electromagnético
<b>efectos sobre los seres humanos</b>	- inmediatos	- inmediatos y persistentes	- imprevisibles	- inmediatos - persistentes
<b>efectos sobre los materiales</b>	- fuertes	- nulos (contaminación)	- nulos (contaminación)	- muy fuertes
<b>defensa del personal expuesto</b>	- mediana	- alta	- imprevisible	- muy baja
<b>efectos sobre la población</b>	- bajo y previsible	- muy alto	- muy alto e Imprevisible	- muy alto
<b>descontaminación</b>	- innecesaria	- posible	- difícil	- difícil

Tabla 2.1.1.1 Comparación de efectos del armamento NBQ

### 2.1.2. Estado del Arte

En la actualidad la posibilidad de la utilización de armamento NBQ puede proceder de los siguientes orígenes:

- El uso como armamento táctico o estratégico de ejércitos o pactos militares contra objetivos similares, agresiones estado contra estado o agrupaciones de estos, en este caso se trataría de declaraciones de guerra en su sentido mas tradicional, precedidas de períodos de hostilidades diplomáticas, económicas, políticas, etc., el uso y alcance del armamento sería de grandes dimensiones y por lo tanto sus consecuencias también. Este sería el caso de la lucha entre grandes potencias o bloques y alianzas, la guerra en el “primer mundo”.

- Desde estados o pactos a objetivos concretos existentes en otros estados, en este caso no existiría necesariamente declaración de guerra oficial, bajo pretexto de atacar organizaciones terroristas o instalaciones de riesgo cobijadas por el país agredido, se llevarían a cabo de manera localizada y bajo la filosofía mas que cuestionable de la prevención, en este caso el ataque el uso del armamento y sus consecuencias serían mucho mas reducidas, sobre todo considerando el que habitualmente habrá una enorme desproporción de fuerzas entre el agresor y el agredido por lo que no se espera respuesta militar tradicional de este último.

Entre países denominados como de riesgo (regímenes totalitarios basados en estructuras socio-políticas inestables de comportamientos extremistas), fundamentalmente situados en el entorno del tercer mundo, entre los que existen conflictos tradicionales fronterizos, étnicos, religiosos, sociopolíticos, etc., en este caso dadas las limitaciones de sus arsenales y capacidades geoestratégicas las consecuencias del uso de este tipo de armamentos sería localizada en la zona de conflicto básicamente, el riesgo importante de este tipo de conflictos es la desestabilización regional que producen en el entorno inmediato que puede provocar otro tipo de conflictos de mayor escala en etapas sucesivas.

- Desde países de riesgo contra potencias o sus aliados, este es un escenario poco probable y de alcance muy limitado, las armas estratégicas son en teoría inexistentes en este tipo de países, sus armas tácticas son muy limitadas en cuanto alcance y capacidad destructiva, en lo que respecta a las nucleares, y las que serían mas asequibles, las químicas y biológicas, también estarían muy limitadas a su capacidad de actuación geográfica, circunscribiéndose al entorno del país agresor, con consecuencias básicamente locales. En este caso y en orden a su disponibilidad sería mas probable el uso de armas químicas y por su efectividad las armas biológicas.

- Desde organizaciones terroristas contra objetivos estratégicos y/o civiles en estados, a la vista de lo expuesto hasta el momento, en este caso el uso del armamento

nuclear es altamente improbable, se centraría en el uso de algún ingenio portable o rudimentario y por lo tanto de reducidas consecuencias en cuanto a daños directos se refiere, salvo cuando se atacara un objetivo de riesgo y las consecuencias asociadas provocaran la multiplicación del efecto pernicioso (ataque a una central nuclear o similar), otra cuestión mas probable sería el uso de armas radiológicas que poseerían gran efecto psicosocial pero consecuencias físicas reducidas al entorno del ataque, realmente lo mas probable para esta situación, por su facilidad y amplia repercusión, sería el uso de las armas químicas y en especial biológicas, en un ataque reducido a un objetivo o simultáneamente a diferentes objetivos, en cualquier caso la agresión provocaría un importante impacto psicosocial y en el caso biológico, la repercusión podría alcanzar consecuencias mas que significativas por sus daños y extensión.

Antes estos posibles escenarios de riesgo cual es la actitud adoptada por los estados y los organismos internacionales para su control y la mitigación de las consecuencias posibles.

Generalmente ante la trascendencia del asunto los estados y sus organizaciones internacionales han establecido a lo largo de la historia moderna tratados internacionales que limiten la producción, tenencia, uso, investigación y demás cuestiones relacionadas con este tipo de armas de destrucción masiva. Así pues existen tratados específicos al armamento nuclear, al químico y al biológico. El objetivo de estos tratados es conseguir minimizar el riesgo de estas armas y ello se consigue mediante la perfección de ese instrumento jurídico y la realidad de su aplicación. Tal y como se ha podido apreciar hasta el momento, los tratados de no proliferación de armas nucleares y los de control de armas químicas son tratados modernos y muy desarrollados, lo que implica complejidad técnica en su aplicación pero a la vez garantías de su alcance y seguimiento mediante las correspondientes inspecciones y declaraciones (US Unitary and Binary Chemical Stockpiles, 1996), por el contrario el tratado de armas biológicas es un instrumento que por su antigüedad ha quedado muy limitado y es motivo de adecuación actual. La aplicación de estos tratados, suponen limitaciones prácticas a los estados ya que requieren la paralización de sus capacidades ofensivas, restricciones industriales-comerciales (SIPRI, 1993) y en definitiva detrimentos económicos y hegemónicos ya que pueden afectar a producciones e investigaciones de tecnología de doble uso, por eso aunque realmente los estados se adhieren a los tratados luego estos no se cumplen de manera escrupulosa, las grandes potencias gracias a su capacidad científico-técnica poseen medios para “bordear” su cumplimiento y los países de riesgo poco desarrollados adoptan políticas al margen de estas salvaguardias internacionales, conscientes en muchas ocasiones de que son su única salida para adquirir un potencial destructivo asequible a sus economías y digno de consideración militar.

Los estados avanzados conscientes de la amenaza de las armas de destrucción masiva ( NBQ ), han adecuado militarmente sus ejércitos para estas nuevas técnicas ofensivas-defensivas, cada uno en la medida de su capacidad y necesidad, en muchas ocasiones a través de las Alianzas supranacionales (Pugwash, 1999). La nueva realidad de

la amenaza terrorista con este tipo de armas ha supuesto un nuevo reto para los estados avanzados que ha tenido y esta teniendo que adecuar sus cuerpos y fuerzas de seguridad así como todas sus estructuras de Defensa Civil y Sanidad para poder abordar con efectividad esta nueva amenaza social. Un pilar fundamental en esta nueva tarea del estado es la formación y la información del ciudadano, para que conozca el alcance real de esta amenaza y como protegerse a nivel individual de la misma. La ejecución práctica de estos objetivos estatales, se esta llevando a cabo mediante la formación, entrenamiento y dotación específica de estos cuerpos especiales en materia NBQ así como adaptando estructuras sanitarias y protocolizando las actuaciones de sus profesionales en lo referente a la detección, tratamiento y profilaxis contra este tipo de agresivos. Los medios de difusión audiovisuales juegan un papel determinante en la información-formación adecuada del ciudadano en general y en este sentido se desarrollan campañas específicas en televisión, internet, prensa, radio, etc.

Una tarea fundamental para combatir de manera adecuada la combinación del fenómeno terrorista y armas de destrucción masiva, es la promulgación y aplicación real del derecho internacional específico en estas materias, así como la armonización de la legislación de todos los estados en la misma (SIPRI, 1999). En este sentido se esta trabajando de manera acelerada en disponer de esta legislación y de mecanismos efectivos para que los países la cumplan de manera adecuada, esto no resulta nada fácil ya que la lucha contraterrorista efectiva requiere en ocasiones “según determinados expertos” trabajar en el límite de los derechos y garantías fundamentales de los ciudadanos y de los estados y esto supone que en pro de esta causa se pueden cometer atropellos injustificables, por lo que muchos países de sólidas convicciones democráticas son reticentes a este tipo de nuevas legislaciones mas agresivas y salvo que haya serios mecanismos de control son remisos para su adhesión.

En cualquier caso la tendencia generalizada actual va en el sentido de potenciar los tratados de control internacionales de este tipo de armamentos en todas sus facetas complementados con mecanismos de apoyo técnico mutuo en caso de ser víctimas de este tipo de agresiones, establecer una legislación internacional sólida y comparable para la persecución y condena de actuaciones terroristas, establecer un sistema coordinado internacional de información y grupos de actuaciones operativas especiales que garantice el desmantelamiento del tráfico de armas, materiales sensibles y grupos terroristas, atacando su financiación, organización, entrenamiento, logística y regímenes que los apoyen y por último y a nivel de cada país intentado mejorar su capacidad de respuesta interna frente a esta nueva amenaza que hasta recientes fechas era considerada como una hipótesis de trabajo pero que la actualidad reciente la ha ratificado como una amenaza real.





## CAPITULO III: MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1. Escenario simulado

Para la aportación de la presente tesis, se ha escogido la simulación de un supuesto ataque terrorista contra la ciudad de Valencia mediante un dispositivo de los denominados como “bomba sucia” (STANAG-NATO), activado en la plaza del Ayuntamiento y compuesto por una fuente sanitaria (de teleterapia) en desuso de Cobalto 60 (Co60) con 500 Curios (Ci) ( $1.850000E+013$  Bq) residuales, robada por un grupo terrorista a la que se adhiere 100 Kgs de explosivo de alto poder equivalente al trinitrotolueno (TNT).

Se ha escogido como punto del ataque terrorista un lugar emblemático de la ciudad de Valencia, por su significación, por su alcance a la población y por sus consecuencias económicas y psicológicas previsibles (Frost,R.M, 2005). Los datos cartográficos, urbanísticos y poblacionales, consistentes en planos de Valencia por distritos municipales a escala, las densidades de población por distritos y sus diferentes características y los equipamientos urbanos se han extraído de las fuentes oficiales del propio Consistorio , oficina estadística y urbanismo.

Los datos meteorológicos, han sido tomados de las observaciones anuales procedentes de una estación situada en Valencia ciudad (ver anexo de meteorología).

La acción se desarrolla en un día cualquiera entre semana y en horario diurno, el vehículo portador de la bomba, presumiblemente se aparcaría adecuadamente (para evitar levantar sospechas) aprovechando el horario de máxima afluencia (zona comercial y administrativa) y la máxima presencia de personas en la calle que es donde mas vulnerables serían a la contaminación, trascurrido un breve plazo de tiempo para alejarse y protegerse de la explosión (200 mts con obstáculos), el terrorista detonaría el artefacto mediante un radioteléfono y se esperaría a oír la detonación, aprovechando la confusión de los primeros momentos, se alejaría de la zona.

Para la determinación de superficies afectadas por la exposición-contaminación y para poder sacar proporcionalmente la población afectada teóricamente en las mismas, se ha utilizado un sistema digital de medida de superficies. El establecer matemáticamente una proporcionalidad directa entre zona afectada y según su densidad de población, personas afectadas, hace suponer que todos los residentes de la zona se encuentran en la misma y son directamente expuestos, sin embargo, posiblemente una parte de todos estos ciudadanos hayan abandonado la zona por sus obligaciones en día laborable y horario de trabajo pero esta ausencia la suponemos compensada con todos los ciudadanos que por diferentes motivos acuden a esa zona, por lo tanto asumimos en la simulación la proporcionalidad directa expuesta.

No consideramos la presencia en la zona de edificios de consideración especial tales como centros sanitarios, colegios, centros administrativos, comercios, etc., que pudieran albergar un importante número de ciudadanos en el momento del ataque y sobre todo ciudadanos con especial sensibilidad a la exposición de la contaminación radiactiva tal y como pudieran ser niños, enfermos y personas mayores, ya que excede del propósito de la presente tesis que esta destinada a simular los análisis de campo en los primeros momentos de la emergencia para poder gestionarla adecuadamente.

### 3.2. La fuente radiactiva

Respecto de la fuente radiactiva escogida, se basa en los siguientes razonamientos (Mullen, E. et al, 2002). La teleterapia con cobalto es una técnica que en los países avanzados se está sustituyendo por el tratamiento con aceleradores lineales, así es que esta en recesión, sin embargo todavía permanece e incluso se fomenta su uso (recomendaciones de la OMS) en países del tercer mundo cuyos recursos tecnológicos dificultan el mantenimiento de equipos de alta tecnología tales como los aceleradores. En estos países el control administrativo y de seguridad sobre este tipo de materiales es escaso y por lo tanto el acceso a los mismos por parte de grupos organizados es muy factible (Manual Chapter 1303 de DOE, 2002).

Las actividades de este tipo de fuentes cuando están en el uso sanitario descrito pueden oscilar entre los 3000 a los 15000 Ci. (CRCPD brochure de DOE, 2002), por lo que se ha escogido el caso más accesible para los terroristas de obtener una fuente abandonada en alguna instalación (casos de la Goiania y Afganistán), en tránsito de deshecho o en almacenamiento precario, con una actividad residual de 500 Ci, que entendemos como situación mucho más probable que la consistente en la utilización de una fuente de máxima actividad que deberían robarla de un centro en uso que presumiblemente procedería a la denuncia inmediata, además el transporte de esa actividad tan grande, podría delatarlos ante algún sistema de vigilancia radiológica ambiental y necesitaría de un extraordinario blindaje sin el cual causaría una irradiación masiva hasta la práctica inhabilitación del "mensajero".

En cualquier caso en la simulación efectuada se incluye un caso con la máxima actividad previsible y con una cantidad de explosivo superior, para ver si existirían en ese caso un tratamiento del problema muy diferente del planteado como escenario más probable, en el apartado de conclusiones se comenta el estudio comparativo.

En el presente trabajo, además de los escenarios contemplados con la fuente de Cobalto 60, dada la posibilidad de que la actuación terrorista pudiera utilizar una fuente de similares usos y precedencias pero en este caso del isótopo Cesio 137 (generalmente serán más antiguas y de menor actividad) se ha realizado un escenario específico para este tipo de fuente y sus resultados comparados con los del cobalto, se exponen en el correspondiente apartado.

El Cesio-137 es un isótopo radiactivo del cesio que se forma fundamentalmente por la fisión nuclear. Tiene una vida media de 30,23 años, y decae en emisión beta pura a un isómero nuclear metaestable del bario-137 (Ba-137m). El Bario-137m tiene una vida media de 2,55 minutos y es responsable de todas las emisiones de rayos gamma.

El Cesio-137 es soluble en agua y sumamente tóxico en cantidades muy pequeñas. Una vez liberados al medio ambiente, su vida media larga asegura su presencia e irradiación de los seres expuestos durante mucho tiempo.

Una vez depositado sobre el terreno el Cesio tiene una escasa capacidad de migración, la mayor parte de él se retendrá en los primeros 20 cm de profundidad, siendo su máxima distribución en los primeros 10 cms.

La energía de fotones de Ba-137m es 662 keV. Estos fotones pueden ser utilizados en la irradiación de los alimentos, la radioterapia en el cáncer (antiguamente), en usos industriales para la radiografía industrial como otros isótopos gamma o medidores de humedad y densidad, medidores de flujo, sensores y otros equipos.

Comportamiento biológico de Cs-137 es similar a la de potasio. Después de entrar en el organismo, se distribuye uniformemente por todo el, con mayor concentración en el tejido muscular y menor en los huesos. El período biológico del cesio es corto, 70 días.

Pequeñas cantidades de Cs-134 y Cs-137 se liberaron en la atmósfera durante los ensayos de armas nucleares y algunos accidentes nucleares, especialmente la catástrofe de Chernobyl.

Un incidente muy grave con una fuente de Cs-137 abandonada (de teleterapia), fue la manipulación de la misma y la liberación de su contenido (brillante muy llamativo) con resultado de una extensa e intensa contaminación y afectados en Brasil (Goiania).

Otro incidente trascendente fue la fusión de una fuente de cesio abandonada junto con un cargamento de chatarra metálica en 1998, en las instalaciones de Recycler Acerinox en Cádiz, con resultado de una contaminación ambiental importante. Se sabe por informaciones procedentes de la ex Unión Soviética que existen numerosas fuentes de este tipo abandonadas o sin apenas custodia.

### 3.3. El transporte y su ocultación

Para transportar el material aunque fuera un terrorista, posiblemente se escogiera un blindaje que asegurara dosis razonables al exterior, además un peso adecuado para transporte y manipulación, pequeño volumen para ocultación y fácilmente volatilizable con la explosión, por ejemplo un blindaje de algo mas de 40cm. de arista en un cubo de plomo (ver apartado 3.6). Este se depositaría preferiblemente sobre un vehículo de caja abierta tapada con lona, para mejorar la dispersión y ocultamiento (sin identificaciones), el vehículo transportaría todo el peso de explosivos y blindaje, así es que sería del tipo furgoneta. Para 40cm de arista cuadrado de plomo el blindaje serían  $64000\text{cm}^3$  que por  $11,34\text{ g/cm}^3$  (densidad del plomo) sería un peso de 725 kg., posiblemente fuera excesivamente pesado y voluminoso para manipulación y su desintegración, así es que suponemos unas condiciones de transporte mas realistas considerando las circunstancias de una actividad terrorista, con menos blindaje, un cubo de 10cm de plomo de arista aproximadamente, es decir  $1000\text{cm}^3$  con un peso de 11,34 kg., en su interior una fuente de Co60 de forma discoidal de espesor 0,3 mms de acero rellena de polvo de co60 con dimensiones de 5 cms de radio y altura de 1,5 cms., para minorar las dosis del transportista pudieran hacer cambios con los mismos, cuestión que no es previsible por entender que esto requiere un esfuerzo de logística importante y expondría mas el desenmascaramiento de la operación, en cualquier caso este no es un dato relevante para este trabajo.

En el apartado 3.6 estiman las tasas de dosis a las que estaría sometido el terrorista portador de la fuente, según los diferentes blindajes a los que recurrieran.

### 3.4. Bombas sucias

A continuación se procede a explicar en profundidad a que se llama una “bomba sucia” y cuales serían los aspectos mas destacables desde todo punto de vista de este tipo de artefactos con usos terroristas.

#### 3.4.1. Definición Bomba sucia

Es un término reciclado que actualmente se utiliza para denominar a los artefactos explosivos que diseminan elementos radiactivos en la atmósfera. Inicialmente se usó sobre todo para calificar a las bombas de fisión de bajo rendimiento así como las bombas termonucleares con cubierta fisil en contraposición con las bombas limpias sin apenas residuos radiactivos. Pero, más recientemente, se ha usado para denominar a uno de los posibles tipos de los llamados dispositivos de dispersión radiológica (DDR). Otra denominación que se utiliza para este artefacto es el de **bomba radiológica**.

Tras los atentados del 11-S el tema ha cobrado actualidad ya que se considera como un arma relativamente barata de fabricar y posible candidato a ser usada por grupos terroristas. A pesar del temor suscitado entre la gente una bomba sucia no es un arma de destrucción masiva ya que no produciría gran cantidad de muertes. Sus daños sin embargo serían más fruto del pánico con importantes secuelas económicas.

#### 3.4.2. Antecedentes

Las primeras noticias de un intento de uso militar de un explosivo junto a una fuente radiactiva o BQ datan de la guerra Irán-Irak (1980-1988), en la que se utilizaron indiscriminadamente armas de destrucción masiva químicas y biológicas. Según informes de la ONU de esa primera guerra contra Irán, Irak ante la imposibilidad de obtener armas atómicas, se inclina por la fabricación más barata y sencilla de estas bombas sucias. En 1987 sus científicos prueban una bomba sucia de una tonelada pero los militares la desestiman para uso militar debido a la baja letalidad de la misma. Además observaron que para una buena dispersión del material radiológico requerían de unas condiciones atmosféricas ideales. A pesar de todo, se cree que se adaptaron alrededor de 100 bombas para armamento químico como bombas sucias.

En 1995 rebeldes chechenos colocaron una bomba sucia en el parque de Izmailovsky en Moscú compuesta por alrededor de 5 kg de explosivo y una fuente de Cesio-137, al parecer de uso médico. Aunque no fue utilizada más que como amenaza y demostración de fuerza, sí sirvió como aviso de la posibilidad de su construcción por los grupos terroristas.

A partir de entonces se ha informado de varios intentos de obtención de material radiactivo por parte de grupos terroristas, siendo el arresto de José Padilla uno de los casos más famosos, intensificando los controles de las posibles fuentes radiactivas que pudieran formar parte de una de estas bombas sucias.

Los accidentes que se han producido con fuentes radiactivas desde los comienzos de su uso práctico demuestran que deben tenerse en cuenta sus efectos perniciosos y preverse todo tipo de uso malintencionado de esas mismas fuentes por parte de grupos terroristas.

Los ejemplos de accidentes con fuentes huérfanas (fuentes sin control) nos muestran lo graves que pueden ser las consecuencias si no se trata adecuadamente la emergencia. En el caso de una bomba sucia, las consecuencias incluso podrían resultar más graves ya que

existe una diferencia fundamental entre estos casos accidentales y una bomba sucia, y es que una bomba sucia es el resultado de una acción premeditada que está dirigida a causar el mayor daño posible, mientras que un accidente no.

### 3.4.3. Fuentes radiactivas

El uso civil de fuentes radiactivas en aplicaciones médicas, industriales o académicas o militar como señuelos, fuentes de calibración, o incluso en plantas de fabricación de armamento, y sobre todo la cantidad ingente de fuentes huérfanas que comienzan a aparecer en el mercado negro ha hecho que hoy día sea relativamente factible para un grupo terrorista hacerse con una de ellas. Todos los gobiernos han acentuado el control de las fuentes conocidas y se está tratando de encontrar la pista de otras sobre las que se desconoce su ubicación (las llamadas fuentes huérfanas).

Según El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), la Nuclear Regulatory Commission (NRC) americana y otros estudios los radioisótopos con más posibilidades de ser usados son:

Cobalto-60, selenio-75, estroncio-90, cesio-137, terbio-169, tulio-170, iridio-192, polonio-210, radio-226, plutonio-238, plutonio-239, americio-241, curio-244 y californio-252.

### 3.4.4. Características

El ensamblaje de una bomba así es algo más complicado que unir el material a un cartucho de dinamita. Una construcción de este tipo haría que la fuente radiactiva saliera despedida o como mucho se fragmentara en pedazos muy peligrosos, difíciles de localizar pero fácilmente controlables una vez localizados haciendo muy fácil la descontaminación de la zona. Una bomba sucia bien fabricada pulverizaría el material lo suficiente como para dispersarlo y existiría la probabilidad de contaminar una zona de una ciudad poblada. El área que se contaminaría sería mayor o menor dependiendo de las condiciones atmosféricas y arquitectónicas, siendo tanto más peligrosa la radiactividad cuanto menos se dispersara (mayor concentración), pero por otro lado, si se dispersara mucho afectaría a más personas.

El contenido en explosivo convencional puede variar desde algunos kilogramos, como la bomba sucia chechena, hasta varias toneladas, como en el caso de un camión bomba.

No es probable el uso de este tipo de armas en aplicaciones militares debido a su baja letalidad y a que sus efectos probabilísticos (como el cáncer) aparecerían demasiado tarde para convertir la bomba sucia en un arma efectiva.

### 3.4.5. Efectos

Además de los estudios realizados por Irak, prácticamente todas las agencias del mundo ocupadas de la seguridad de las fuentes radiactivas, ya civiles o militares, se han volcado en conocer los posibles efectos de uno de estos artefactos.

Tanto el OIEA (Organismo Internacional de la Energía Atómica), la ICRP (International Commission on Radiological Protection), la HPS (Health Physics Society) y otros organismos, están de acuerdo en afirmar que los efectos inmediatos a la salud no serán mayores que los producidos por el explosivo en sí mismo, cuestión esta que podremos

comprobar mediante la simulación realizada en el presente trabajo. Sus efectos radiológicos serían muy limitados y diferidos a lo largo de muchos años.

#### **3.4.5.1.1. Económicos y psicológicos**

Se considera que los mayores efectos inmediatos que provocaría una bomba sucia serían los económicos y el pánico de las personas. El objetivo más probable serían las zonas más densamente pobladas donde el impacto sería mayor. Aún así, debido a que los efectos de las radiaciones no serían inmediatos, puede afirmarse que se podría actuar adecuadamente en un tiempo que minimizara suficientemente los efectos a la salud de esas radiaciones.

En caso de quedar contaminadas zonas importantes de la ciudad puede que tuviesen que ser descontaminadas o incluso demolidas algunas casas para retirar el material irradiado con el consiguiente trastorno en las comunicaciones y en la vida diaria. Cuanto más densa sea la ciudad los gastos por descontaminación y limpieza de la zona serían mayores.

Incluso la demolición de edificios prevista como contramedida para ciertos casos de contaminación extrema, y aplicada en accidentes como el de Goiania (Brasil-1987) se vería dificultada por el hecho de que afectara a edificios que tuvieran una gran importancia social, histórica o cultural.

Además se ha demostrado que las actuaciones de demolición en ese accidente de Goiania causaron un trastorno psicológico y económico tan grave a las familias afectadas y a la propia ciudad de Goiania que difícilmente podían estar justificados (siguiendo la filosofía ALARA<sup>(\*)</sup> de la protección radiológica) para esas familias por un aumento de la probabilidad de padecer cáncer a lo largo de su vida (supuesta sobre 70 años) de un 0.005 % (ICRP). Debido a esto en estos momentos se considera que no es válido adoptar los criterios de riesgo (traducido en el nivel de dosis legal de 1 mSv/año) utilizados para un funcionamiento normal de las aplicaciones radiológicas, sino que se debe considerar que es una situación grave, excepcional y accidental y actuar en consecuencia. Hoy en día se considera que recibir una dosis de 100 mSv, o lo que es lo mismo, aumentar la probabilidad de tener un cáncer en esas personas a lo largo de su vida en un 0.5 %, en caso de accidente es preferible a desubicarlas permanentemente de su casa.

(\*) As Low As Reasonably Achievable (las exposiciones se mantendrán tan bajas como sea razonablemente posible)

#### **3.4.5.1.2. Biológicos**

Si bien es poco probable la afectación por efectos agudos de la radiación podrían aparecer efectos radiológicos a largo plazo si no se realizara algún tipo de intervención sobre la zona contaminada. Si la zona fuera evacuada y descontaminada convenientemente aumentarían muy considerablemente los daños económicos (serían métodos muy caros y se debería reubicar temporalmente a las personas), pero los casos calculados de cáncer inducidos (a partir de la dosis proyectada) se reducirían considerablemente. Si no se interviniera sobre la zona porque la contaminación fuese muy baja existiría cierta probabilidad de que surgiera algún cáncer inducido (por encima de lo normal) a lo largo de la vida de las personas afectadas pero los daños económicos serían menores.

La situación variará según el tipo de radiación que emita la fuente. En el caso de los rayos gamma estos atraviesan sin dificultad la ropa y la piel y afectan sobre todo de forma externa, y no tanto de forma interna (isótopos emisores gamma son el Cobalto-60 y el Cesio-

137). Los emisores beta afectan de forma externa y sobre todo interna, con lo que son más peligrosos si se inhalan o ingieren (un isótopo beta puro es el Estroncio-90 por ejemplo). Los emisores alfa no afectan de forma externa, y sí cuando son inhalados (respirados con el aire) o ingeridos (con la comida o por la resuspensión). Esto es así porque la radiación alfa es poco penetrante y no puede atravesar la ropa o la piel (un isótopo emisor alfa es el Plutonio-238). Sin embargo, la radiación alfa dentro del cuerpo tiene un peligro o Efectividad Biológica Relativa (RBE) 20 veces mayor que los otros dos tipos (mas radiotóxica).

El daño sobre la población de la zona afectada a largo plazo dependerá de ciertas hipótesis **conservadoras** como la llamada Lineal Sin Umbral (LNT en inglés) que supone que los daños a bajas dosis son igual de importantes que a dosis altas y que no existe una dosis por debajo de la cual no aumente el riesgo de efectos probabilistas (siendo posible que incluso sean beneficiosos, teoría esgrimida por los defensores de la hormesis que afirman que el ser humano ha vivido desde siempre con un fondo radiactivo que ayuda a luchar contra virus y bacterias, o bien que no tuvieran efectos). La teoría LNT consiste en afirmar que un ligero aumento en las dosis de radiación induce siempre un incremento en la probabilidad de sufrir cáncer u otros efectos probabilistas a lo largo de la vida. Esa es la teoría (conservadora) utilizada para realizar todos los cálculos de aparición de cánceres y otros por todas las instituciones científicas dedicadas a la protección radiológica, en el apartado 3.7.24, se detalla mas el estudio del detrimento radiológico.

Según la hipótesis LNT el riesgo de que una persona que haya recibido una dosis de 1 mSv (que es el límite Europeo anual para la dosis recibida por el público, y la mitad de la dosis recibida por la radiación natural) contraiga un cáncer es de un 0.005 %.

#### **3.4.5.1.3. Políticos**

Los terroristas conocen y usan el efecto que hace sobre los responsables políticos este tipo de actos sobre la sociedad. Seguramente los propios terrorista se encargaran de dar difusión a que se trata del uso de una bomba mezclada con una fuente radiactiva ya que si no es así posiblemente el tema ante la falta de detección, se tratara por parte de las autoridades competentes como un ataque convencional de bajo nivel, con la consiguiente menor repercusión mediática y psicológica.

En el caso de la bomba sucia el efecto se vería amplificado por las repercusiones sociales que posee cualquier tema relacionado con la radiactividad, por lo que los responsables políticos deberían tratar el ataque con absoluta eficacia y discreción y sobre todo transmitiendo a la población serenidad y la sensación del absoluto control de la situación.

Sería recomendable que los responsables:

1- Posean planificaciones ante este tipo de emergencias detalladas, simples y bien estructuradas. Esto dará seguridad a la población y se reduciría el efecto del pánico.

2- Se informen de manera suficiente rápidamente y comuniquen lo antes posible (en tiempo real si es posible) a la población toda la información adecuada sobre el atentado.

3- Se trate e informe lo antes posible a las personas afectadas por la radiactividad sobre las consecuencias que pueden tener en su salud.

4- Se comiencen las intervenciones necesarias (descontaminación, evacuación, profilaxis u otras) planificadas de antemano con la mayor rapidez posible.

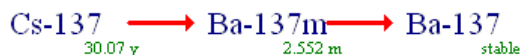
### 3.4.6. Dispersión del material

El comportamiento de una bomba sucia es complejo, pudiendo afectar a una zona amplia si el material radiactivo se convirtiera en un polvo suficientemente fino como para ser transportado por el viento (aerosol), o a una pequeña zona si el polvo no fuera suficientemente fino o las condiciones atmosféricas fueran desfavorables (lavado por la lluvia). Dependiendo de la cantidad de explosivo, de la cantidad de material radiactivo, de la forma física y química del mismo y de las condiciones meteorológicas y orográficas-urbanas la dispersión del material radiactivo puede variar de manera muy importante y los efectos de las radiaciones sobre las personas pueden ser muy diferentes, ya que una concentración alta de material radiactivo hace que el peligro sea mayor, pero una concentración baja daría como resultado un número mayor de personas afectadas pero con un peligro menor (mayor zona de dispersión).

### 3.5. Propiedades físicas de la fuente radiactiva

Se trataría tal y como se ha descrito anteriormente de una fuente de Cobalto 60 de 500 Ci de actividad ( $1,8500E+13Bq$ ), desechada de sus usos sanitarios en teleterapia, por lo tanto encapsulada en una pastilla electrosoldada de acero inoxidable de forma discoidal de espesor 0,3 mms rellena de polvo de Co60 con dimensiones de 5 cms de radio y altura de 1,5 cms.

El **Cobalto-60 ( $^{60}Co$ )** es un isótopo radiactivo del cobalto, con una vida media de 5,27 años.  $^{60}Co$  decae por "desintegración beta" al isótopo estable níquel 60 ( $^{60}Ni$ ). En el proceso de desintegración,  $^{60}Co$  emite un electrón con una energía de 315 Kev y luego dos fotones gamma con energías de 1,17 y 1,33 Mev, respectivamente.



Cadena de desintegración del Co60, Figura 3.5.1.1

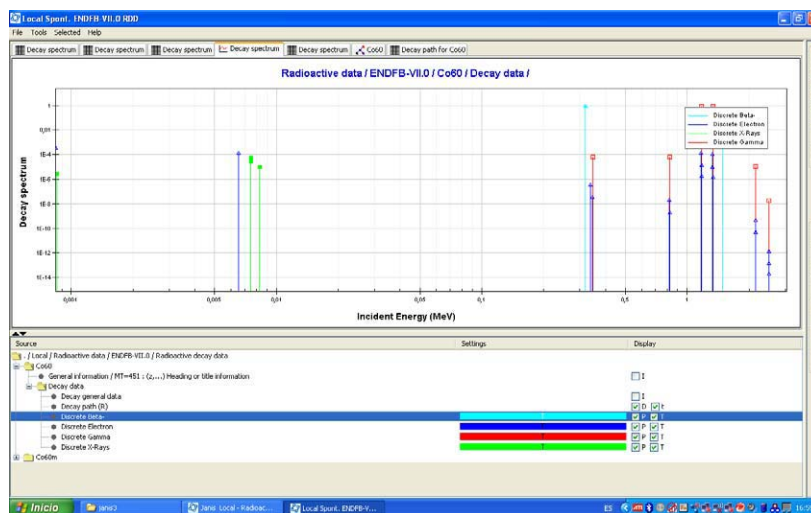
Un gramo de  $^{60}Co$  contiene aproximadamente 50 curios (1,85 terabequerelios) de radiactividad. Esa cantidad de  $^{60}Co$  podría irradiar una persona con aproximadamente 0,5 Gy/min. Una dosis al cuerpo entero de aproximadamente 3 a 4 Gy es letal para el 50 % de una población expuesta en 30 días, y puede acumularse en pocos minutos de exposición a 1 g de  $^{60}Co$ .



### Radionuclide Safety Data Sheet

<b>Co-60</b>	<b>Radionuclide:</b>	<b>Cobalt-60</b>			<b>Half-life</b>	
	<b>Atomic Number</b>	27	<b>Atomic Weight</b>	60	<b>Physical</b>	<b>Effective</b>
					5.27 years	5.27 years
<b>Annual Limit on Intake (Bq)</b>						
<b>Ingestion</b>	Oxides, hydroxides, inorganic compounds 8E+06				Unspecified compounds 6E+06	
<b>Inhalation</b>	Oxides, hydroxides, halides, nitrates 1E+06				Unspecified compounds 3E+06	
<b>Radiation Characteristics</b>						
<b>Principal Emissions</b>	<b>Maximum Energy (MeV)</b>	<b>Dose Rate at 1 m Distance (mSv/h/GBq)</b>		<b>Recommended Shielding</b>		
<b>Gamma</b>	1.173, 1.3321	0.37		HVL Lead: 12 mm		
<b>Beta</b>	0.318	~0.05		na		
<b>Detection and Measurement</b>						
Method of detection:	<u>G-M detector, NaI crystal detector.</u>					
Dosimetry:	External: <u>whole body, skin and extremity</u> Internal: <u>whole body, thorax, urine analysis and faeces</u>					
<b>Protective Measures</b>						
<b>Hazards:</b> Cobalt-60 sealed sources presents an external gamma hazard						
<b>Exposure routes:</b> Ingestion, inhalation, puncture, wound, skin contamination/absorption						
<b>Recommended protective clothing:</b> No protective clothing is necessary for work with sealed sources. When working with unsealed sources wear appropriate protective clothing such as laboratory coats, coveralls, gloves, safety glasses/goggles and a suitable mask, if the radioactive material is in the form of dust, powder or if it is potentially volatile						
Optimize time, distance and shielding. Manipulate sealed sources remotely to minimize extremity doses						
<b>Sources and application of Co-60</b>						
Cobalt-60 is made artificially and has many common industrial applications such as in leveling devices, thickness gauges and in radiotherapy in hospitals. Large sources of cobalt-60 are increasingly used for sterilization of spices and certain foods. Cobalt-60 is also used for industrial radiography to detect structural flaws in metal parts						

Ficha de seguridad del Co60, Figura 3.5.1.2



Espectro de emisión del Co60 (OCDE Nuclear Energy Agency) , Figura 3.5.1.3

El  $^{60}\text{Co}$  tiene como aplicaciones habituales:

Trazador en reacciones químicas, esterilización de equipos sanitarios, fuente de radiación para radioterapia, fuente de radiación para radiografía industrial, fuente de radiación para verificar espesores y niveles, fuente de radiación para irradiación de alimentos, fuentes de laboratorio, etc.

La creación de  $^{60}\text{Co}$  es una importante etapa en la nucleosíntesis. Sin la etapa  $^{60}\text{Co}$ , no se podrían formar los elementos N° 27 a 83 en supernovas. El  $^{60}\text{Co}$  artificial se crea bombardeando un blanco de  $^{59}\text{Co}$  con una fuente de neutrones térmicos, normalmente procedentes del  $^{252}\text{Cf}$  moderados con agua, o en un reactor nuclear tipo Candu (Canadiense), donde barras de acero se reemplazan por Co-59.

Después de entrar al organismo, la mayoría del  $^{60}\text{Co}$  se excreta en las heces. Una pequeña cantidad se absorbe por el hígado, riñones, y huesos.

### 3.6. Cálculo de blindajes para el transporte

Para la estimación del posible blindaje que albergara la fuente radiactiva, se han utilizado dos sistemas de cálculo específicos denominados el Rad Pro Calculator ® y el Micro Shield ®, estos sistemas basan sus algoritmos de cálculo y librerías de datos en los siguientes soportes:

#### 3.6.1. Rad Pro Calculator ©

Este software ha sido utilizado para el cálculo de las exposiciones en un punto del espacio, para una actividad determinada de un isótopo radiactivo, atenuado por un material específico, es un cálculo aproximado pues no toma en consideración, las diferentes geometrías de fuente y blindaje.

El desarrollo del programa se basa en las siguientes librerías de datos y procedimientos de cálculo:

Ecuaciones básicas para la desintegración, vida media, actividad específica, blindajes, conversiones, etc. (Basic equations for decay, half-life, specific activity, shielding, conversions, etc.) de: Gollnick, Daniel A., PHD, November 2006. "Basic Radiation Protection Technology, 5th Edition", Pacific Radiation Corporation, <http://www.pacificrad.com/pages/publications.html>.

Ecuaciones de las tasas de fluencia gamma (Gamma fluence rate equations) de: Chabot, George, CHP, PHD, "Relationship Between Radionuclide Gamma Emission and Exposure Rate", The Health Physics Society, "Ask the Experts" webpage, <http://hps.org/publicinformation/ate/faqs/gammaandexposure.html>.

Coefficientes de blindajes (Shielding coefficients) de NIST: Hubbell, J.H. and Seltzer, S.M. (2004), Tables of X-ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients (version 1.4). [Online] Available: <http://physics.nist.gov/xaamdi> [2006, March 20]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. Originally published as NISTIR 5632, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (1995).

Factores de acumulación (Buildup factors) de: ANSI/ANS-6.4.3-1991, Gamma Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials, Published by The American Nuclear Society, August 26, 1991. Low and High energy factors for selected materials updated with Monte Carlo code factors: Chibani, Omar, 2000. "New Photon Exposure". Buildup Factors", Nuclear Science and Engineering, Volume 137, 2001

Espectros de emisión y rendimientos (Energy Lines and Yields) de: Erdtmann, G., and W. Soyka, 1979. "The Gamma Rays of the Radionuclides: Tables for Applied Gamma Ray Spectrometry", Verlag Chemie, Weinheim, New York.

Datos de vidas medias (Half-Life Data) de: LBNL Isotopes Project, Nuclear Data Dissemination Home Page. Half-lives retrieved September 9, 2002 from <http://ie.lbl.gov/toi.html>.

Tablas de extrapolación beta (Beta Extrapolation Tables) de: Shleien, B., Slaback, L. A. Jr., and Birky, B. K., 1998, "Handbook of Health Physics and Radiological Health", Third Edition, Lippincott Williams and Williams.

Datos empíricos de Rx (X-ray Empirical Data) de: BRITISH STANDARD BS 4094-2:1971, Recommendation for Data on shielding from ionizing radiation — Part 2: Shielding from X-radiation

Ecuaciones radiación de frenado beta (Beta Bremsstrahlung Equations) de: Martin, James E., 2000, "Physics for Radiation Protection", Wiley-VCH and Moe, Lasuk, Schumacher, and Hunt, Radiation Safety Technician Training Course, Argonne National Laboratory, ANL-7291 Rev.1, Health and Safety, May, 1972, available from NTIS, USDC; Springfield, VA., 22151 Scaler, counter and static frisker MDA, MDC calculations from: Martin, James E., 2000, "Physics for Radiation Protection", Wiley-VCH.

Cálculos sobre scanner (Scanner and frisker MDA, MDC calculations) de: Gollnick, Daniel A., PHD, November 2006. "Basic Radiation Protection Technology, 5th Edition", Pacific Radiation Corporation, <http://www.pacificrad.com/pages/publications.html>.

Ecuaciones de la tasa de fluencia beta (Beta Fluence Rate Equations) de: Martin, James E., 2000, "Physics for Radiation Protection", Wiley-VCH.

En las imágenes siguientes, mediante el simulador citado, se estiman las tasas de dosis a las que estaría sometido el terrorista portador de la fuente, según los diferentes blindajes a los que recurrieran.

Simulación de las dosis de transporte Rad Pro Calculator©

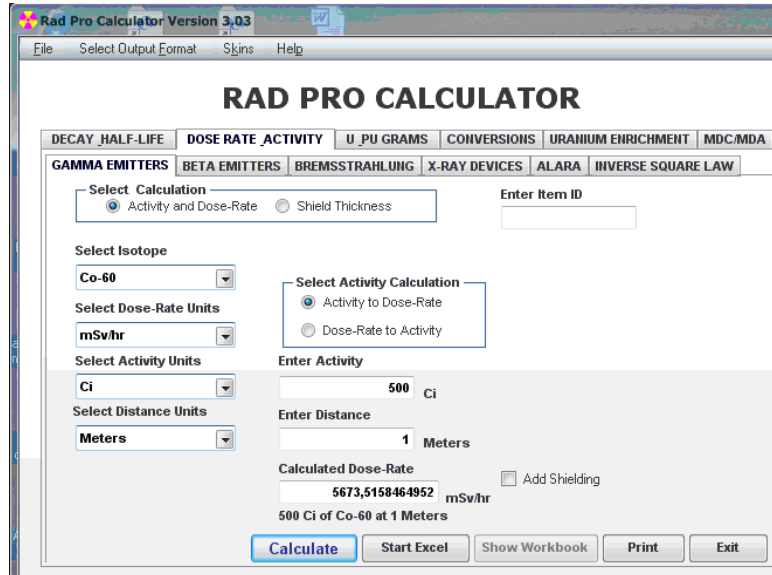


Figura 3.6.1.1

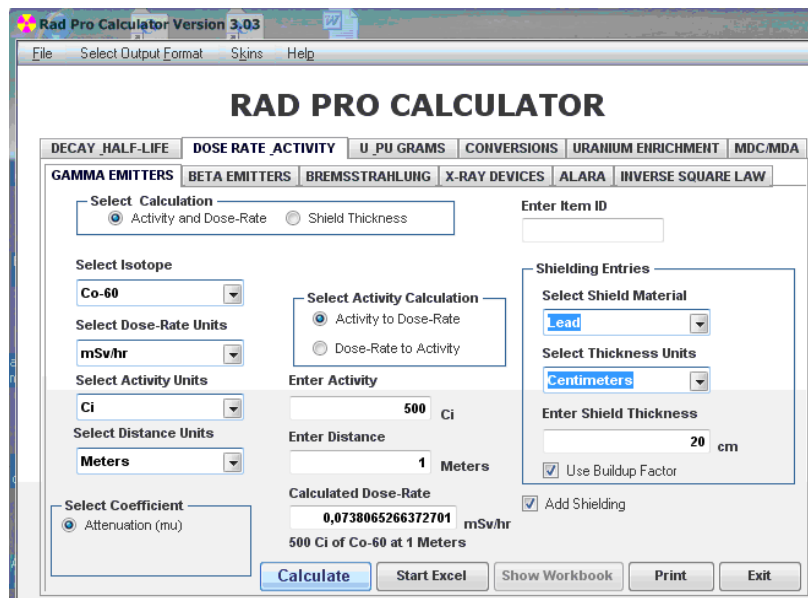


Figura 3.6.1.2

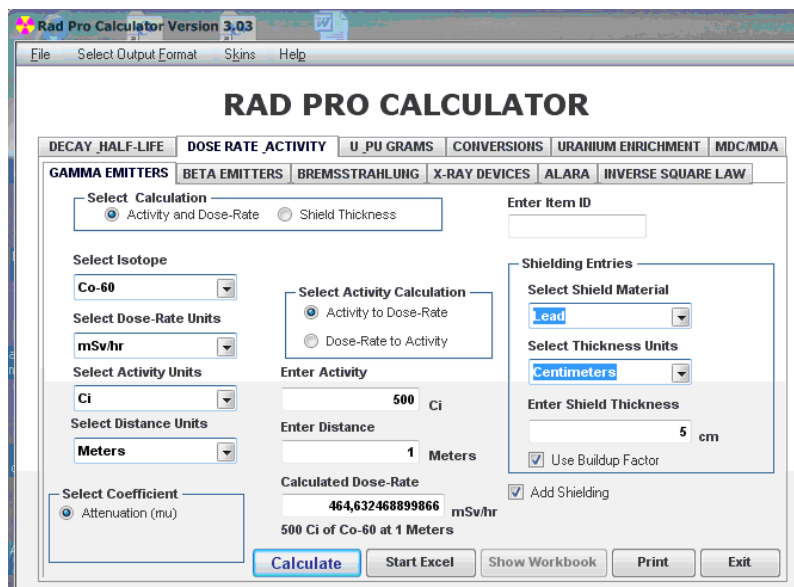


Figura 3.6.1.3

En resumen diríamos que para la fuente de Co60 de 500 Ci, utilizando plomo convencional como estructura de blindaje, las tasas de exposición serían las siguientes:

Espesor del blindaje en cms.	Tasa de exposición en mSv/h a 1 m.
0	5673,5
20	0,0738
5	464,62

Tasas de exposición en función del blindaje Radprocalculator<sup>®</sup>, Tabla 3.6.1.1

Considerando que la dosis letal en los días siguientes del cincuenta por ciento de una población expuesta puede alcanzarse con una dosis de 500 rem (5 Sv) en irradiación corporal total y homogénea de una única exposición, y que en el escenario II escogido, el blindaje de transporte es de 5 cms de plomo, en 10,7 horas el terrorista alcanzaría su propia dosis letal seguramente, cuestión esta que entendemos no debe ser obstáculo para el desarrollo de la operación, el objetivo no será salvar al terrorista si no asegurar la operación y para ello dentro de lo posible, se blindara la fuente, para evitar su detección en lo posible, seguramente el portador de la bomba no sea consciente de su riesgo o puede que sabiéndolo, lo asuma totalmente.

### 3.6.2. Micro Shield ©

Este software ha sido utilizado para el cálculo de las exposiciones en un punto del espacio, para una actividad determinada de un isótopo radiactivo, atenuado por un material específico, este cálculo toma en consideración, las diferentes geometrías de fuente y blindaje así como datos de la cadena de desintegración del isótopo y factores de acumulación del blindaje.

El desarrollo del programa se basa en las siguientes librerías de datos y procedimientos de cálculo:

Librería de datos ( radionucleidos, atenuaciones, factores de acumulación, conversión de dosis) (Library data (radionuclides, attenuation, buildup, and dose conversion) reflect standard data) de RSICC, ANS, and ICRP.

ICRP-38 Librería de núclidos (Nuclide Library).

En las imágenes siguientes, mediante el simulador citado, se estiman las tasas de dosis a las que estaría sometido el terrorista portador de la fuente, según los diferentes blindajes a los que recurrieran.

### Simulación de las dosis de transporte MicroShield ®

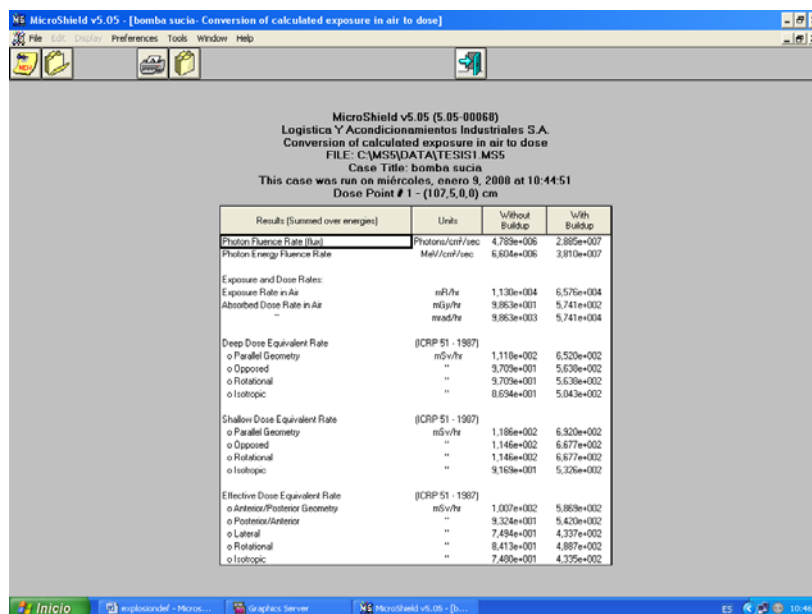


Figura 3.6.2.1

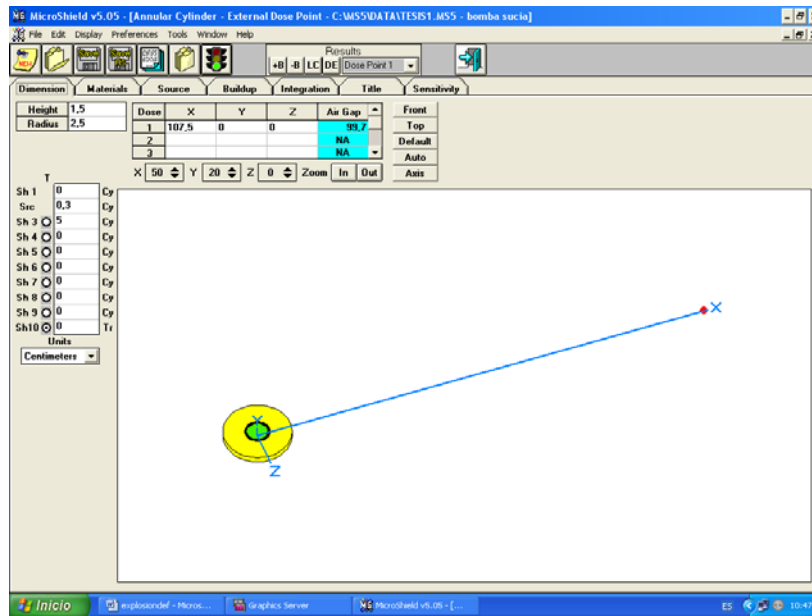


Figura 3.6.2.2

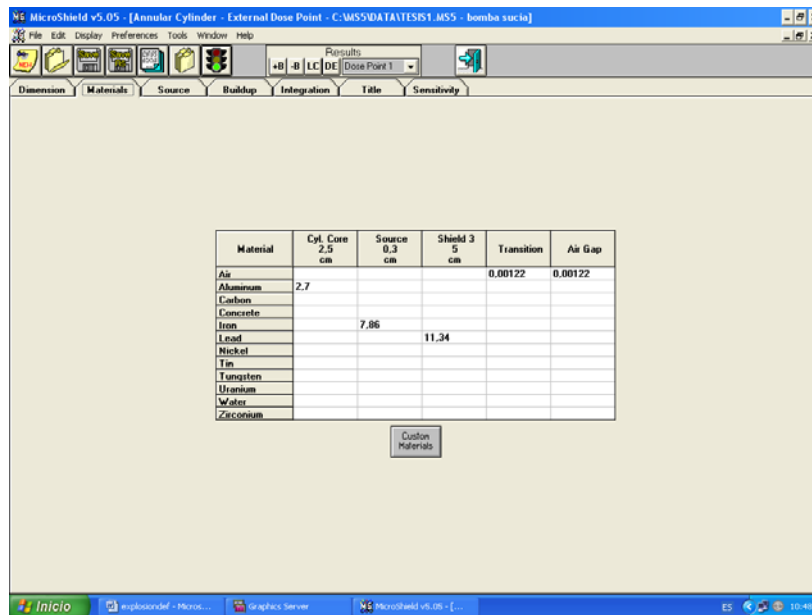


Figura 3.6.2.3

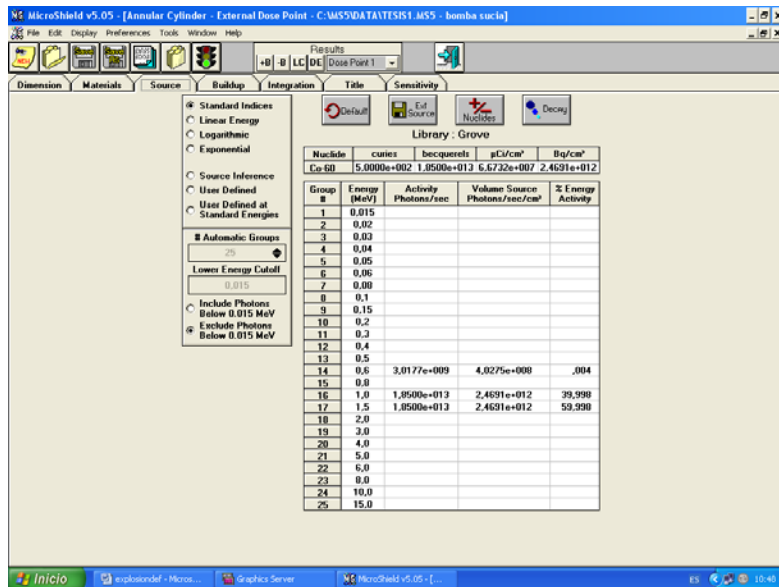


Figura 3.6.2.4

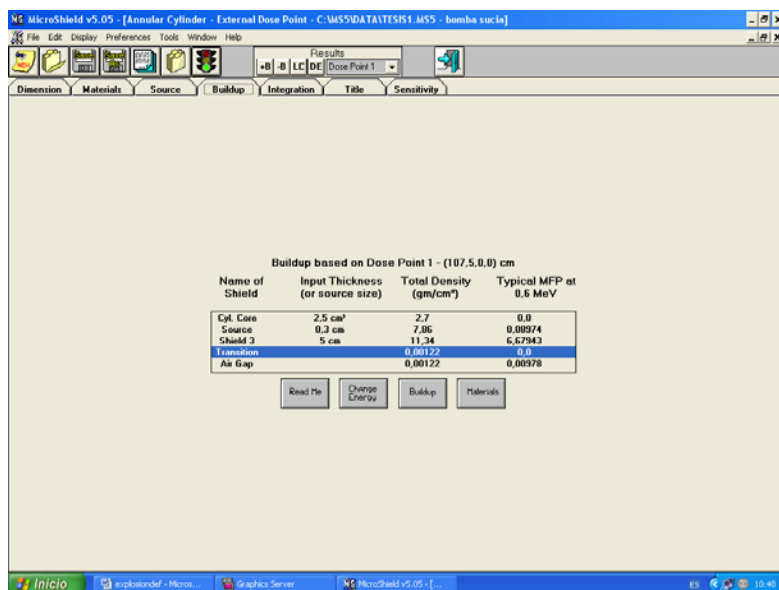


Figura 3.6.2.5

Para este simulador, el máximo valor de dosis estimado para las geometrías y materiales propuestos ha sido de 6,920E+002 mSv/h (geometría paralela), exposición que supera a la estimada por el simulador primero, por lo que para este caso la dosis letal del portador, se alcanzaría en 7,24 horas.



**3.6.3. Los datos suministrados para el cálculo del blindaje han sido los siguientes:**

**3.6.3.1.1. Los datos de la fuente radiactiva:**

Ver los datos expuestos anteriormente sobre la fuente de Co60.

**3.6.3.1.2. Los datos del blindaje:**

Sería un cubo de 10cm de plomo (densidad 11,34 grs./cm<sup>3</sup>) de arista aproximadamente, es decir 1000cm<sup>3</sup> con un peso de 11,34 kg., en su interior una fuente de Co60 de forma discoidal de espesor 0,3 mms de acero rellena de polvo de co60 con dimensiones de 5 cms de radio y altura de 1,5 cms.

**3.7. El sistema de simulación (Hotspot©)**

El programa Hotspot utilizado como simulador fue creado como una herramienta para que el personal de emergencias pudieran hacer estimaciones de incidentes radiológicos sobre el terreno. Los códigos utilizados en el programa son aproximación del tipo de primer orden para emisiones radiológicas atmosféricas.

El programa diseñado para zonas de conflicto, da respuesta a emisiones realizadas durante un corto plazo de tiempo (short term), emitidas en unas pocas horas, para escenarios donde se requieran medidas mas prolongadas en el tiempo, habría que acudir a sistemas denominados como "long term" que tendrían en cuenta datos metereológicos de plazos mas dilatados así como otras especificidades del terreno, por ejemplo se trataría de los códigos CAPP88-PC (Parks, 1992) utilizado en Lawrence Livermore National Laboratory's National Atmospheric Release Advisory Center (NARAC) (Sullivan , 1993).

El programa permite cuatro escenarios de incidentes, dispersión mediante una pluma, dispersión debida a una explosión, dispersión debida a un incendio y la dispersión debida a la resuspensión de material radiactivo depositado en superficies, estimando en cada caso el impacto radiológico en la dirección del viento dominante en el momento de la emisión continua o instantánea. Dispone además de la posibilidad de seleccionar emisiones relacionadas con el plutonio, uranio y tritio, dedicadas a la simulación del uso de armas nucleares.

La parte de explosiones nucleares estima los efectos de la explosión en superficie que incluiría los efectos mecánicos, térmicos, emisiones gamma, neutrones y lluvia radiactiva (fall-out), esta última estima el tiempo de llegada, tasa de exposición en ese momento, y dosis integrada para diferentes periodos de tiempo.

El modelo de dispersión atmosférica que utiliza el Hotspot, es un híbrido de una pluma Gaussiana en la que se han realizado determinadas modificaciones tendentes a mejorar el modelo de acuerdo con las experiencias de los diseñadores, esta modelización es ampliamente utilizada para análisis de seguridad en los primeros momentos de la emergencia, el evaluador suministra al programa los datos que serán necesarios para establecer la simulación del evento en particular y el resto los tomara de sus librerías.

En la Publicación 30 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) (ICRP Publication 30: Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, 1982), “Respiratory Tract” y la ICRP 30 Part IV “Systemic models “, se basan los factores de conversión de dosis (DCF) que utiliza el Hotspot. Este asume la definición de un micrómetro para el AMAD. Los factores de peso de la ICRP 26/30 para los tejidos, se usan en el cálculo de la dosis equivalente efectiva comprometida para 50 años, el sistema da los valores en unidades clásicas o en el sistema internacional.

### **3.7.1. Librería de radionúclidos**

El programa incorpora en sus librerías las “Federal Guidance Reports 11, 12,13” (FGR-11, FGR-12, FGR-13) (Eckerman, K.F. et al, 1988), (Eckerman, K.F. et al, 1993), Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides, 1999) respecto de los factores de conversión de dosis (Dose Conversion Factors DCFs) para inhalación, submersión y “ground shine” (emisiones procedentes desde las superficies de deposición de los radionúclidos). La dosis efectiva equivalente comprometida a 50 años por la inhalación de radionúclidos, se calcula para efectos deterministas agudos que harán una estimación del impacto radiológico asociado (dosis de irradiación agudas), aplicadas a órganos diana como pulmones, médula ósea, intestino delgado, etc.

El programa incluye la posibilidad de realizar mezclas de radionucleidos (hasta 50).

### **3.7.2. Las salidas del Hotspot**

Puede realizar salidas gráficas dirigidas a pantalla, disco o impresora, los gráficos se refieren a dosis y contaminaciones del suelo desde el centro de la pluma (emisión) en la dirección del viento dominante, mediante curvas de isometrías.

### **3.7.3. Levantamiento de mapas geográficos**

La dosis de radiación y la contaminación del suelo pueden ser salvados sobre mapas geográficos, añadiendo datos de latitud y longitud, coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) y sistema de referencia de cuadrícula militar (MGRS).

### **3.7.4. Los contornos de la pluma (penacho)**

La gestión de una emergencia requiere unos medios rápidos y suficientes para generar una valoración inicial de una emisión atmosférica accidental o programada. Es muy importante la consistencia de la metodología de valoración y el uso de términos fuente, sustancias involucradas y las condiciones meteorológicas, lo mas precisas posible. Los modelos excesivamente sofisticados con multitud de datos no suelen ser efectivos para las necesidades iniciales de una emergencia.

En el caso específico de la planificación de la emergencia y la reacción, estamos generalmente interesados en las perspectivas de las peores situaciones posibles para por ejemplo, si la pluma de material radiactivo alcanza una comunidad, poder establecer las dosis proyectadas equivalentes eficaces comprometidas. A menos que los datos del incidente sean detallados con exactitud los errores de modelos de predicción complejos también producirán errores de apreciación importantes, además de su complejidad de uso, gasto excesivo de tiempo ,sin dar soluciones más exactas que un modelo simple de Gaussiana.

### 3.7.5. Validación del Hotspot

El Hotspot usa los mismos algoritmos y metodologías que la EPA (Environmental Protection Agency USA) en sus "Technical Guidance for Hazards Analysis -Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances," U.S. Environmental Protection Agency, Federal Emergency Management Agency, and U.S. Department of Transportation, December 1987. (DOE-LLNL Hotspot Health Physics Codes Hotspot Health Physics Codes -www.llnl.gov/nai/technologies/hotspot).

Los códigos del Hotspot continuamente son puestos al día para incorporarle los mas recientes datos de conversión de dosis radiológicos y metodologías. Para asegurar la puesta en práctica correcta de los algoritmos el programa después de cada revisión de software el sistema es probado. El programa permite al usuario controlar este proceso de verificación/validación automático.

El modelo Gaussiano utilizado en el Hotspot es una herramienta muy comprobada y aprobada por la EPA y probada por otros organismos (Handbook on Atmospheric Diffusion, DOE/TIC-11223 (DE82002045), prepared for the Office of Health and Environmental Research, Office of Energy Research, U.S. Department of Energy, 1982).

### 3.7.6. Verificación

El modelo de Gaussiana todavía es la herramienta fundamental para cálculos de dispersión atmosféricos y se encuentra en la mayoría de las guías oficiales. El modelo de Gaussiana también ha sido usado y aceptado por la Environmental Protection Agency de los EE.UU. (EPA 1978). Este modelo esta comprobado como válido para hacer las estimaciones iniciales o la estimación del peor caso de dispersión.. El Hotspot no usa ninguna "técnica de "caja-negra", todos sus algoritmos son presentados y mencionados completamente en sus archivos de ayuda.

### 3.7.7. Exactitud

Los mayores errores de cálculo pueden proceder de usar un modelo de Gaussiana en línea recta cuando existen condiciones complejas del terreno o situaciones del viento complejas. Aunque la dirección del viento repentinamente cambiara 90 °, o cambiara el terreno (su geometría), el modelo de línea recta podría pronosticar una concentración en la dirección del viento nueva contando con el tiempo desde la emisión inicial. El viento puede cambiar muchas veces de dirección y magnitud durante la emergencia así pues aunque tuviéramos un sistema de torres-rejilla monitorizando en continuo el terreno y las condiciones meteorológicas, las decisiones de evacuación no dependen de la pluma simulada que parece no afectar en principio a una zona habitada. Generalmente en las situaciones de emergencias se hace una estimación de las concentraciones de radionúclidos máximas previsibles en función de la distancia al punto inicial de la emisión, y se suele evacuar en su caso a toda la población en 360° eliminando el problema de variabilidad de viento. Esto es particularmente común en situaciones en que la velocidad del viento es < de 2 m/s en el que la dirección de viento está cambiando frecuentemente.

Las incertidumbres relacionadas con variables en las fluctuaciones de viento y terreno en el modelo Gaussiano, pueden producir malas predicciones de las dosis y concentraciones, pero también afectaran a estas predicciones la mala aportación de datos básicos de cálculo como son el término fuente, la altura efectiva de la emisión, etc.. Con

valores precisos suministrados al programa, los cálculos obtenidos están dentro de una desviación típica del 5% y algunos autores refieren incluso un factor del 3% (Cember, 1985).

Otras formas de controlar la precisión del modelo Gaussiano escogido, es exigir que si D es la dosis de radiación calculada, el 50% de las veces la dosis real este comprendida en el intervalo D/3 -3D y el 80% de las veces en el intervalo D/8-8D, este nivel de precisión es mas que aceptable para situaciones de emergencias, generalmente las estimaciones del modelo Gaussiano suelen ser conservadoras, lo que es deseable.

### 3.7.8. Desarrollo del Hotspot

Cronología, desde que la primera versión salió en el año 1985, este programa ha sufrido nueve actualizaciones que han tenido que ver con desarrollo para nuevos sistemas operativos, nuevas capacidades de simulación y nuevas implementaciones de datos, así en el año 2000 Hotspot 98 Version 1.06 (Full 32 bit Windows 95/98/00/NT Application) ,

Microsoft Visual Basic 6.0 Professional, se añadió un nuevo módulo de simulación titulado "Radionuclides in the Workplace", destinado a las estimaciones de dosis procedentes de contaminaciones en lugares de trabajo. Se incluyeron además correcciones en la predicción de dosis debidas a la submersión en la nube con mezclas de radionúclidos. En el año 2002 (Hotspot 2.0)se añadieron módulos para simular la calibración de instrumentos de campo y la posibilidad de hacer las simulaciones sobre Mapas Geográficos determinados por el usuario, se añadieron factores de conversión para dosis agudas recogidos en las FGR 11 y 13, se elevo la altura del receptor de 0 a 1,5 mts., para las partículas respirables se cambio a 0,3 cm/s para radionúclidos que no sean gases nobles, para las partículas no respirables su velocidad de deposición se podría variar de los 8 cms/s.etc.

En el año 2003 Hotspot 2.05 (Full 32 bit Windows 95/98/00/XP/NT Application) Microsoft Visual Basic 6.0 Professional, añade las simulaciones de explosiones para diferentes casos (Plutonium Explosion, Uranium Explosion and General Explosion). La tabla de salida incluye datos de los efectos mecánicos de la explosión, rotura timpánica e incapacitación (5 psi), daños pulmonares e incapacitación completa (10 psi) y letalidad in situ (25 psi). Se revisa el modelo " Fuel Fire model" añadiéndole mas puntos de referencia de calculo.

En el año 2005 Hotspot 2.06 (Full 32 bit Windows 95/98/00/XP/NT Application) Microsoft Visual Basic 6.0 Professional, en la Nuclear Explosion model incluye en su tabla de salida de datos la posibilidad de cambiar los factores de protección del terreno frente al "fall out" (Glasston, página 579 y 428).

### 3.7.9. Glosario de términos usados en el Hotspot

TEDE: Dosis equivalente total efectiva (Total Effective Dose Equivalent,)

TEDE = CEDE (inhalation) + EDE (submersion)  
CEDE dosis equivalente efectiva debida a la inhalación

En el programa si se incluyera la irradiación procedente de las superficies contaminadas durante cuatro días (ground shine). La EDE (dosis equivalente efectiva) estaría incluida en la TEDE

$$\text{TEDE} = \text{CEDE} + \text{EDE} + \text{EDE (ground shine)}$$

### 3.7.10 Sumario de entradas del programa:

Nombre del radionúclido o mezcla de ellos, (hasta 50 radioisótopos mezclados)

Término fuente en actividad o Kgs de material, Curies y/o kg de plutonio o uranio

La fracción del material involucrado en el evento (fuego, explosión, etc.) que esta suspendida en el aire, (AF) .

La fracción respirable (Respirable Fraction) (RF), es la fracción de material suspendido en el aire que es respirable (menor de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico; Activity Median Aerodynamic Diameter ) se asume un valor de 1 micrómetro.

Fracción respirable de la emisión, es la fracción de la cantidad total del material causante del evento que es respirable y esta disponible para ser dispersada en la atmósfera.

$$\text{Fracción respirable de la emisión} = (\text{AF})(\text{RF}).$$

$$\text{Término Fuente Respirable} = (\text{material total en el evento})(\text{RF emitida}).$$

Fracción no respirable emitida (Non-respirable Release Fraction) .Es la fracción de la cantidad total de el material envuelto en el evento que no es respirable y esta disponible para su dispersión en la atmósfera.

$$\text{Fracción no respirable emitida} = (\text{AF})(1-\text{RF}).$$

$$\text{Término fuente no respirable (Non-respirable Source Term)} = (\text{material total en el evento})(\text{no respirable fracción emitida}).$$

Explosivo, en libras o Kgs. equivalentes a TNT. (Explosive Release Modules: High Explosive (pounds TNT equivalent)).

Coordenadas geográficas de la emisión (Release Geographical Coordinates ( Geodetic, Lat/Long, UTM, and MGRS)).

Geometría para términos Fuentes complejos (dimensiones en mts.) (Complex Source Term Geometry Mode):

Dimensión horizontal en metros (Horizontal Dimension (meters)).

Dimensión vertical en metros (Vertical Dimension (meters)).

Altura en metros (Height (meters)).

Módulo de fuegos en combustibles (Fuel Fire Module):

Volumen de combustible (Volume of Fuel (gallons)). (1 galon eq. 3.785 litros)

Duración del fuego en minutos (Burn duration (minutes)).

Emisión de calor en calorías/segundo ( Heat emission rate ( calories/second)).

Radio del fuego en metros ( Radius of Fire zone (meters)).

Velocidad del viento (Wind Speed) (m/s) a la altura de 2 m. o 10 m. La velocidad del viento a la altura efectiva de la emisión se determina mediante una función estandarizada.

Dirección del viento (Wind Direction) (de 0° a 360°)

Clase de estabilidad atmosférica (Stability Class) (A-G)

Altura de la emisión en metros (Release Height) .

Altura del receptor en metros (Receptor Height).

Altura de la capa de inversión en metros (Inversion Layer Height)

Velocidad de deposición de partículas en suspensión en m/s (Deposition Velocity), para estimar la reducción de la pluma (penacho) y la deposición en el suelo.

Coefficiente de reducción en 1/segundo (Washout Coefficient), para reducción de la pluma y deposición en el suelo.

#### **3.7.11. Sumario de salidas del programa**

Los usuarios pueden extraer los valores de la dosis equivalente efectiva comprometida a 50 años (50y CDE) y contaminaciones del suelo en la dirección del viento dominante en función de la distancia.

#### **3.7.12. Factores de conversión para dosis agudas** ( primer día y para los 30 primeros días)

La mayoría de los factores de conversión (DCFs) utilizan factores de peso que tienen en cuenta la efectividad de determinados tipos de radiaciones en determinados tejidos en relación a la inducción de cánceres. Los factores de calidad (Q) son similares a los factores que miden la eficacia biológica relativa (Relative Biological Effectiveness RBE) usados en radiobiología para predecir los efectos deterministas. Normalmente un Q=20 se usa para emisores alfa para determinar la dosis comprometida equivalente efectiva a 50 años (CEDE) para exposiciones ocupacionales con incorporaciones de radionúclidos al organismo.

La CEDE-DCFs no se utilizarán para predecir efectos agudos ni efectos tempranos deterministas sobre la salud, estos valores incluirán los factores Q específicos para los efectos estocásticos. Los pesos para los tejidos utilizados en los DFCs reflejan la sensibilidad de los mismos ante la inducción de cánceres no los efectos deterministas.

Keith Eckerman del Oak Ridge National Laboratory suministra en el programa Hotspot los factores de conversión en dosis agudas. Esos datos contienen los valores de Gy/Bq para radiaciones de alto y bajo LET (Linear Energy Transference) para médula ósea, intestino delgado y pulmones.

Los órganos diana, médula ósea, intestino delgado y pulmones son utilizados para la estimación de los efectos agudos y la letalidad temprana. En Hotspot se asume que la dosis total recibida en un día o menos son "exposiciones agudas" y las dosis totales recibidas entre uno y treinta días son denominadas "exposiciones tempranas". El período de tiempo para la manifestación de los efectos agudos/tempranos, depende de la tasa de dosis y puede ser de horas a meses (en bajas o altas tasa). En baja tasa el programa asume que esos efectos

aparecen en los siguientes 60 días con una dosis letal LD50/60 (Mettler and Upton, 1995), (NUREG/CR-4214, 1993) (Evans, J.S. et al, 1993).

<b>Dosis total a órganos</b>		
<b>Órgano</b>	<b>Exposición aguda (primeros días)</b>	<b>Exposición temprana (primeros 30 días)</b>
Médula ósea	300	600
Parte de intestino delgado	1500	1500(*)
pulmón	1000	4000(**)

\* debido al tiempo rápido de tránsito, se usan los valores de exposición agudas.

\*\* representa el 50% de probabilidad de pneumonitis severa. Sin embargo la manifestación de la enfermedad puede superar los 60 días (LD50/60+).

Tabla 3.7.12.1 Clasificación de efectos agudos/tempranos, en función de la dosis y del órgano expuesto.

La base de datos de factores agudos usados en el programa, contienen valores para alto y bajo LET para los tres órganos diana comentados anteriormente. La dosis equivalente al órgano DCF (Gy-equivalente / Bq-inhalada) es,

$$DCF(\text{Gy-equivalente / Bq}) = DCF(\text{bajo LET-Gy/Bq}) + RBE * DCF(\text{alto LET-Gy/Bq})$$

En el Hotspot son posibles cuatro períodos de integración distintos denominados "Ingestión aguda – Dosis en el primer día (DOE Vulnerabilidad)" cuando esta opción se selecciona, la RBE de 7 es la utilizada. Otras opciones permiten seleccionar para alta LET las RBE de 1, 7, 10, o 20 para pulmones y 1, 2, o 3 para médula ósea.

Las componentes individuales de las dosis totales a órganos están listadas en el apéndice "Append QC Data" en "Table Output."

Agudo (Acute) DCF : dosis en los 30 primeros días  
 Baja (Low) LET RBE pulmón : 1  
 Alta (High) LET RBE pulmón : 10

Nota: Médula ósea, pulmones y pared del intestino delgado sus dosis incluyen cuatro días de exposición al suelo radiante (ground-shine), es decir a la exposición procedente de la contaminación superficial del suelo proveniente de la deposición de la pluma.

<b>DISTANCIA</b>	<b>DOSIS TOTAL AL ÓRGANO</b>		
	<b>Médula ósea (rad-eq)</b>	<b>Pulmones (rad-eq)</b>	<b>Paredes intestino delgado (rad-eq)</b>
<b>Km</b>			
0.030	3.5E+05	3.5E+05	3.2E+05
Inhalación :	2.44E+02	8.16E+03	3.68E+02
Sumersión :	5.92E+02	5.99E+02	4.94E+02
Irradiación suelo:	3.46E+05	3.38E+05	3.21E+05

Tabla 3.7.12.2 Ejemplo de dosis a órganos a una distancia y por vías de exposición

### 3.7.13. Exposición aguda a la radiación (Acute Radiation Exposure)

Sucede cuando la dosis de radiación ocurre en un corto período de tiempo desde segundos a días. Los efectos biológicos agudos, en dosis elevadas aparecen durante los primeros minutos o semanas dependiendo de la dosis, la fracción del cuerpo expuesta, etc. En esta caso pueden aparecer efectos tales como pérdida del pelo, quemaduras en la piel, cataratas, esterilidad temporal o permanente. Una irradiación aguda a cuerpo entero mayor de 50 cGy (50 rad) puede disminuir el número de células sanguíneas causar diarreas, vómitos, fiebre, y en extremadas altas dosis ( mayores de 1,500 cGy {1,500 rad}) pueden causar desorientación y la muerte.

### 3.7.14. Diámetro aerodinámico

El diámetro aerodinámico es el diámetro de una esfera de densidad unidad (1 g/cm<sup>3</sup>) que tiene la misma velocidad que la partícula seleccionada. Si una particular tiene un diámetro aerodinámico de 1 µm, se comportara aerodinámicamente como una gota de agua de 1-µm independientemente de su forma, densidad o tamaño físico.

### 3.7.15. Aerosol

Partículas coloidales dispersadas en un gas. Generalmente son sólidos o líquidos dispersados en un medio gaseoso.

Los aerosoles pueden permanecer suspendidos en la atmósfera durante un largo periodo de tiempo en función de sus características, el medio de dispersión, el terreno, las condiciones metereológicas, etc.

Ejemplos:

Humo del tabaco		0.01 - 0.5 micrómetros en diámetro
Polen	10	50 µm
Humos de aceites		0.01 - 1 µm
Polvo de cemento		1 – unos pocos cientos de µm

Tiempo de suspensión para partículas esféricas con densidades de 2.5 gramos/cm <sup>3</sup>		
Diámetro partícula (µm)	Altura de emisión (kilómetros)	Tiempo de caída (horas)
20	3	24
25	17	24
50	40	14
100	40	5
200	40	2
200	10	1

Tabla 3.7.15.1 Ejemplos de diámetros de partículas en suspensión, alturas de Dispersión y tiempos de caída.



### **3.7.16. Fracción aerotransportada** (Airborne Fraction AF)

AF es la fracción del material envuelto en el evento y que es emitida a la atmósfera .

### **3.7.17. Fracción respirable** (Respirable Fraction RF) .

Es la fracción de AF que es respirable (menos de 10 micrómetros de "aerodynamic diameter").

### **3.7.18. Clasificación de Estabilidad Atmosférica**

Los meteorólogos distinguen varios estados atmosféricos, inestable, neutra, y estable. Estas categorías se refieren a como un paquete de aire reacciona cuando es desplazado adiabáticamente en la dirección vertical. El Hotspot permite seleccionar la clasificación de estabilidad atmosférica en dos modalidades. Para aquellos no familiarizados con las clasificaciones de estabilidad , el Hotspot seleccionará la clasificación de estabilidad apropiada basada en la entrada de usuario de observaciones directas, o los usuarios directamente pueden seleccionar y forzar una clasificación de estabilidad particular. El método simplificado requiere el seleccionar el factor solar insolación, el tipo de terreno y la velocidad del viento (a 2m de altura). Hotspot determina automáticamente la categoría de estabilidad desde una matriz que contiene seis clases de estabilidad basadas en cinco categorías de insolación .

#### **3.7.18.1.1. Peor caso de estabilidad**

Para una liberación elevada, la posición de la concentración máxima depende de la clase de estabilidad escogida. Para materiales con una velocidad de deposición cero y un punto de liberación en o muy cerca del nivel del suelo, la concentración máxima siempre es asociada con la estabilidad "F". Sin embargo, si la velocidad de deposición es mayor que cero, la estabilidad que propicia la dispersión mas desfavorable ( a sotavento), no siempre esta asociada con la estabilidad "F" debido a los efectos de agotamiento de penacho.

#### **3.7.18.1.2. Estabilidad especial G**

Experimentos de difusión bajo condiciones de cuasi estabilidad nocturnas sugieren que la difusión horizontal será en realidad mayor con la estabilidad F (p. ej.,  $\sigma_y$  más grande) debido al aumento en la curva del penacho (pluma). La desviación estándar de las fluctuaciones de viento observadas en la dirección horizontal, la  $\sigma$ -theta, puede ser muy grande. Los valores de  $\sigma$ -theta observados durante condiciones de estabilidad de G se corresponden a algo situado entre las categorías "A" y "F", p. ej., la difusión en términos de parámetros de dispersión tabulados es indeterminada durante condiciones de estabilidad G (Hanna, 1982). La difusión puede estimarse mejor usando la medida real de  $\sigma$ -theta. Si la clase de estabilidad G se selecciona, al usuario se le pedirá información sobre  $\sigma$ -theta y la clase de estabilidad horizontal, se asumirá la clase F para la componente vertical.

**3.7.19. Condiciones meteorológicas usadas en el Hotspot para definir la categoría de estabilidad atmosférica, A-F.**

Velocidad del viento a nivel del suelo (m/s)	Sol alto	Sol bajo o nublado	Noche
< 2	A	B	F
2 - 3	A	C	E
3 - 4	B	C	D
4 - 6	C	D	D
>6	C	D	D

Tabla 3.7.19.1 condiciones meteorológicas y estabilidades atmosféricas.

Tipos de estabilidad Pasquill:

- A: extremadamente inestable ( $\sigma\theta = 25$  grados)
- B: moderadamente inestable ( $\sigma\theta = 20$  grados)
- C: ligeramente inestable ( $\sigma\theta = 15$  grados)
- D: neutro ( $\sigma\theta = 10$  grados)
- E: ligeramente estable ( $\sigma\theta = 5$  grados)
- F: moderadamente estable ( $\sigma\theta = 2.5$ grados)

**3.7.20. Modelo Gaussiano de dispersión**

**3.7.20.1.1. La ecuación Gaussiana**

**Modelo físico-matemático de dispersión (La ecuación gaussiana)**

El modelo para predicciones a corto plazo para emisiones atmosféricas usa el estado estacionario para emisiones continuas de fuentes elevadas.

El origen de coordenadas se coloca en la superficie del suelo en la base de la emisión, el eje x positivo en la dirección del viento. El eje Y es transversal a la emisión (normal a X) y el eje Z se extiende verticalmente.

Para este modelo las concentraciones calculadas en función del tiempo en los tres ejes, viene dada por la siguiente expresión:

$$\chi = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -0.5 \left( \frac{Y}{\sigma_y} \right)^2 \right]$$

Q= tasa de emisión contaminante (masa por unidad de tiempo)

K= coeficiente de conversión de escala para convertir las concentraciones calculadas a las unidades deseadas( por defecto el valor es de 1 x 106 para Q en g/s y la concentración en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

V= término vertical

D= desintegración.

$\sigma_y\sigma_z$ = desviación estándar lateral y vertical de la distribución de la concentración (m)

$u_s$ = velocidad media del viento a la altura de la emisión

### 3.7.20.1.2. La variante ISC usada por la EPA

Se utiliza para la realización de cálculos a largo plazo, basándose en los modelos de la User's Guide for the Industrial Source Complex Dispersion Models, 1995. El modelo ISC utiliza para localizar receptores de contaminación un sistema cartesiano o polar de coordenadas de origen en  $X=X_0$ ,  $Y=Y_0$ , en polares  $(r,\theta)$  dado por:

$$X(R) = r \sin \theta - X_0$$

$$Y(R) = r \cos \theta - Y_0$$

El perfil de la velocidad del viento se ajusta a partir de valores de referencia medidos a una determinada altura de emisión según la expresión siguiente:

$$u_s = u_{ref} \left( \frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p$$

Valores de p

Categoría de estabilidad	Exponente rural	Exponente urbano
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30

Tabla 3.7.20.1.2.1 valores de p para el cálculo del perfil de velocidad

Para el cálculo del término vertical de la emisión (V), el modelo ISC utiliza la ecuación de Briggs:

$$h'_s = h_s + 2d_s \left[ \frac{v_s}{u_s} - 1.5 \right] \text{ para } v_s < 1.5 u_s$$

El modelo modifica la fórmula de Briggs considerando la altura efectiva de la emisión corregida por la acumulación en la emisión:

$$F_b = g v_s d_s^2 \left( \frac{\Delta T}{4T_s} \right)$$

Para calcular el ascenso del penacho por el gradiente térmico de la emisión, el método aplica las siguientes expresiones:

$$F_m = v_s^2 d_s^2 \frac{T_s}{4T_s} \quad (\Delta T)_c = 0.0297 T_s \frac{v_s^{1/3}}{d_s^{2/3}}$$

$$(\Delta T)_c = 0.00575 T_s \frac{v_s^{2/3}}{d_s^{1/3}}$$

### 3.7.20.1.3. Correcciones de Schulman-Scire y curvas de Pasquill-Gifford

El modelo ISC utiliza las correcciones de Schulman-Scire para calcular la elevación del penacho, cuando la altura de la emisión es menor que la de los edificios circundantes:

$$z^3 + \left( \frac{3L_y}{\pi\beta} + \frac{3R_0}{\beta} \right) z^2 + \left( \frac{6R_0L_y}{\pi\beta^2} + \frac{3R_0^2}{\beta^2} \right) z = \frac{3F_b x^2}{2\beta^2 u_s^3}$$

Para las emisiones puntuales, los parámetros de dispersión se calculan a partir de las curvas de Pasquill-Gifford:

$$\sigma_y = 465.11628(x)\tan(\text{TH}) \quad \sigma_z = ax^b \quad \text{TH}=0.017453293[\text{c-d ln}(x)]$$

Categoría de estabilidad de Pasquill	c	d
A	14.1670	2.5334
B	18.3330	1.8006
C	12.500	1.0057
D	8.3330	0.72382
E	6.2500	0.54297
F	4.1667	0.36193

Tabla 3.7.20.1.3.1 Parámetros usados para calcular  $\sigma_y$  Pasquill-Gilford, donde  $\sigma_y$  esta en metros y X en kilómetros

### 3.7.20.1.4. Correcciones de Huber y Sinder

El método ISC corrige según Huber y Zinder el efecto de la estela en la dispersión de la contaminación que originan los edificios y calcula valores efectivos de la dispersión vertical y lateral:

$$\sigma_{ze} = \left[ \sigma_z^2 + \left( \frac{\Delta h}{3.5} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \sigma_{ye} = \left[ \sigma_y^2 + \left( \frac{\Delta h}{3.5} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Cuando las emisiones contienen partículas cuyo diámetro es inferior a 0.1 micrón, se puede despreciar el término de deposición seca, de esta manera el término vertical V quedaría:

$$v = \exp\left[-0.5\left(\frac{Z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{Z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

### 3.7.20.1.5. Correcciones de Horst

Horst introduce una modificación en el modelo de deposición que tiene en cuenta la deposición por gravedad así como por difusión turbulenta, que afecta a la concentración del penacho así como la distribución vertical de las partículas existentes, esta modificación se incluye en el modelo ICS:

$$v_d(x, z, h_{ed}) = V(x, z, h_{ed}) F_Q(x) P(x, z)$$

$$v_d(x, z, h_{ed}) = \sum_{n=1}^N \Phi_n V_{dn}(x, z, h_{ed})$$

$$F_Q(x) = \text{EXP}\left[-\int_0^x v_d(x', z_d, h_{ed}) P(x', z_d) dx'\right]$$

$$P(x, z) \approx P(x, z_d) \left[1 + (v_d - v_g) R(z, z_d)\right]$$

$$P(x, z_d) \approx \left[1 + (v_d - v_g) \int_0^{\infty} \frac{V(x, z', 0)}{\sqrt{2\pi} \sigma_z} R(z', z_d) dz'\right]^{-1}$$

El método ISC también tiene en cuenta un factor que afectaría en su caso al decaimiento radiactivo o químico del contaminante, según el algoritmo:

$$D = \exp\left(-\Psi \frac{x}{u_s}\right) \text{ para } \Psi > 0$$

$$D = 1 \text{ para } \Psi = 0$$

$\Psi$ =coeficiente de decaimiento ( $s^{-1}$ ). un valor cero significa que no se considera decaimiento  $x$ = distancia de caída (m)

### 3.7.21.El modelo Gaussiano usado en el Hotspot

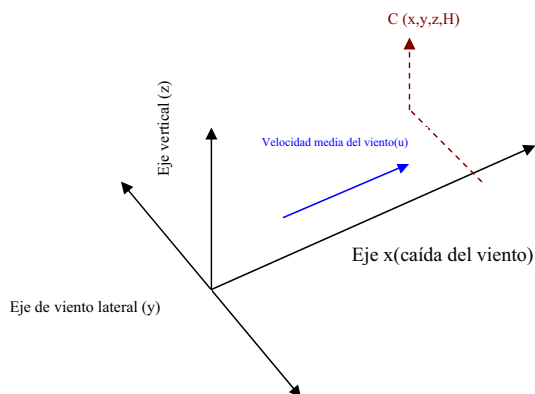


Figura 3.7.21.1 Sistema de coordenadas HOTSPOT

Las ecuaciones siguientes del modelo Gaussiano determinan la concentración atmosférica de un gas o un aerosol:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \exp\left[-\frac{\lambda x}{u}\right]$$

Si se da la capa de inversión y  $\sigma_z$  excede la altura de la inversión (L), se usa la siguiente ecuación:

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \sigma_y L u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{\lambda x}{u}\right]$$

Para evitar una transición brusca entre las dos ecuaciones anteriores, el cambio en la ecuación de la capa de inversión comienza cuando  $\sigma_z$  es igual al 70% de L y se completa cuando  $\sigma_z$  es L. Entre estos dos valores, las dos ecuaciones están interpoladas linealmente.

#### Leyenda

- C= Concentración atmosférica integrada por unidad de tiempo(Ci-seg)/(m<sup>3</sup>)
- Q= Condiciones de la fuente (Ci)
- H= altura efectiva alcanzada (m)
- $\lambda$ = Constante de decaimiento de la radiación (s<sup>-1</sup>)
- x= distancia de caída (m)
- y= distancia del viento lateral (m)
- z= distancia al eje vertical (m)
- $\sigma_y$ = Desviación estándar de la distribución de la concentración integrada en la dirección lateral del viento(m)

$\sigma_z$ = Desviación estándar de la distribución de la concentración integrada en la dirección vertical(m)

u= media de la velocidad del viento en la altura efectiva (H),(m/s)

L= altura de la capa de inversión (m)

### 3.7.21.1.1. Agotamiento del penacho (pluma)

Pequeñas partículas y gases o vapores son depositados sobre superficies como consecuencia de la difusión turbulenta y el movimiento Browniano. Reacciones químicas, impactación, y otros procesos biológicos, químicos, y físicos se combinan para impeler la sustancia liberada hacia el suelo. Como este material es depositado sobre el suelo, el penacho se agota (desvanece). El Hotspot usa un algoritmo de agotamiento de la fuente para ajustar la concentración en el aire del penacho para representar esta desaparición de material.

La disminución del término fuente con la distancia a sotavento se logra multiplicando este por un factor de agotamiento de la fuente [DF (x)]. La evaluación de este factor de agotamiento ha sido descrita por Van der Hoven ("Deposition of Particles and Gases," in Meteorology and Atomic Energy-1968, D.H. Slade, Ed. (U.S. Atomic Energy Commission, Report TID-24190, National Technical Information Service), pp. 202-207 (1968) ).

La ecuación usada en Hotspot es:

$$DF(x) = \left[ \exp \int_0^x \frac{1}{\sigma_z(x) \exp \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{H}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right]} dx \right]^{\frac{v}{u} \sqrt{\frac{2}{\pi}}}$$

donde:

DF(x)= Factor de reducción

x= distancia de caída del viento (m)

v= velocidad de deposición (cm/s)

u= velocidad media de alcance del viento

H= Altura efectiva de lanzamiento de una sustancia

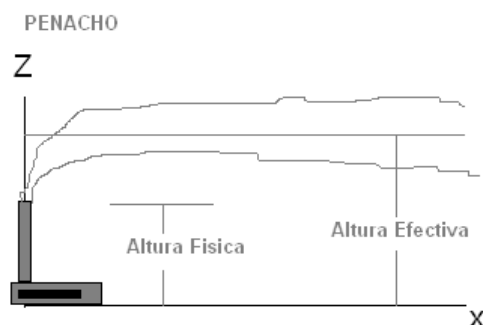
z(x)= Desviación estándar de la distribución de la concentración del aire en la dirección vertical( eje z) para cualquier estandar o tipo de terreno.

Valores por defecto para la deposición recomendados en el Hotspot:

Forma física de la sustancia	velocidad deposición (cm/s)
Sólido	0.3
Gas/vapor	0.1
Desconocido	0.1

Los valores de defecto pueden ser cambiados si se dispone de los reales, la suposición mas conservadora (la que supone la mayor concentración) asumirá que la velocidad de deposición es cero, esto solo es cierto para los gases nobles y por lo tanto determina concentraciones superiores a las reales en la dirección del viento.

### 3.7.21.1.2. Subida de la pluma (penacho)



La altura de penacho real no es la altura de liberación física. La subida de penacho puede ocurrir debido a la velocidad de la emisión y al diferencial de temperaturas entre el efluente y el aire circundante. La subida del penacho causa un aumento de la altura de liberación. Este aumento eficaz de la altura de liberación conduce a bajar concentraciones a nivel de tierra. Si visualmente no se puede estimar o calcular la altura de liberación eficaz, se recomienda que se use la altura de liberación real física o use la altura cero para una liberación de nivel de tierra. Esto casi siempre provocara estimaciones conservadoras. Si se tienen datos reales de la liberación, el Hotspot puede calcular la altura de liberación eficaz, calcula la subida de penacho por su ímpetu (momentum Briggs, 1969) y la subida de penacho por dispersabilidad (buoyant Briggs, 1975) y escoge el mayor de los dos resultados.

#### Dispersabilidad del penacho

El flujo de dispersabilidad, F, es:

$$F = r^2 g v \left( 1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \quad (\text{m}^4/\text{s}^3)$$

Donde:

g= aceleración de la gravedad (9.8m/s<sup>2</sup>)

v= velocidad de salida (m/s)

r= radio (m)

T<sub>a</sub>= Temperatura ambiente (°K)

T<sub>s</sub>= Temperatura del efluente (°K)

La altura efectiva, H, se debe a la dispersabilidad del penacho y se determina como sigue,(Briggs,1975)



Para estabilidad atmosférica, clasificaciones A,B,C,D.

$$H = h + \frac{1.6(F)^{1/3} (x^*)^{2/3}}{u(H)}$$

Donde:

h= altura física de la fuente (m)

u(H)= velocidad del viento y altura efectiva (m/s)

x\*= distancia asociada con la altura final de la pluma (m) (Mnuger,1982)

$$X^* = 119 F^{0.40} \text{ para } F \geq 55$$

$$X^* = 49 F^{0.625} \text{ para } F < 55$$

Para clasificaciones de estabilidad E y F,

para u(H) > 1.4 m/s

$$H = h + 2.6 \left( \frac{F}{u(H)S} \right)^{1/3}$$

para u(H) ≤ 1.4 m/s

$$H = h + 5.0 F^{1/4} S^{-3/8}$$

donde:

S= 0.020g/T<sub>a</sub> para estabilidad E

S= 0.035g/T<sub>a</sub> para estabilidad F

### **Momento del Penacho**

La altura efectiva del penacho debida al momento de la subida de la pluma se determina como sigue:

Para estabilidad atmosférica de tipo A,B, C y D,

$$H = h + \frac{6vr}{u(h)}$$

donde:

v = velocidad de salida de la fuente (m/s)

h= altura física de la fuente (m)

r= radio de la fuente (m)

u(h)= velocidad del viento y altura de la fuente (m/s)

Para estabilidad atmosférica tipos E y F,

$$H = h + 1.5 \left( \frac{F}{u(H)S} \right)^{1/3} S^{-1/6}$$

donde

$$F= 0.25(2rv)^2, (m^4/s^2)$$

$$S= 0.000875 \text{ para tipo E}$$

$$S= 0.00175 \text{ para tipo F}$$

### 3.7.21.1.3. Altura de la Capa de Inversión

Es la altura en la cual el gradiente de temperaturas se invierte la temperatura comienza a aumentar con la altitud creciente). La capa de inversión se asemeja a una manta que limita la mezcla vertical del material liberado radiactivo. La región debajo de la capa de inversión también se denomina capa de mezcla. En el Hotspot, el valor por defecto es 5,000 m, que quiere decir "ninguna capa de mezcla." La altura de capa de mezcla es típicamente 300 a 3,000 m y puede significativamente aumentar valores de concentración de aire.

### 3.7.21.1.4. Clasificación del aclaramiento (dilución) pulmonar D, W, Y y F, M, S

La inhalación de material radiactivo conlleva la absorción en la sangre (y la redistribución subsiguiente a órganos específicos), es una combinación de absorción directa de material soluble y la absorción de material disociado de partículas inhaladas. La tasa de esta absorción es muy dependiente del tiempo.

Estas tasas son determinadas por bioensayos. Para situaciones empíricas se recomiendan tres tasas de absorción por defecto: F (Rápido), M (Moderado) y S (Lento). Estos son similares a la D (el Día), la W (la Semana) y Y (el Año) ( Publicación ICRP 30). La F, M, y S son asociados sólo con la absorción a la sangre, y la D, la W, y Y son asociados con el proceso total.

Hotspot acepta ambas terminologías F, M, S o D, W, Y. (Eckerman, K.F. et al, 1996), (Eckerman, K.F. et al, 1993), (EPA, 1988)

### 3.7.21.1.5. Tamaños de partículas y distribución

El tamaño de partícula de una suspensión monodispersable de partículas finas sólidas o líquidas en la atmósfera es caracterizado por el diámetro de partícula. Sin embargo, la mayor parte de aerosoles se polidispersan y por lo tanto la gama de tamaños de partículas es muy variada. En los modelos de dispersión de Hotspot, se relaciona el tamaño de la partícula por grupos y se relaciona con la actividad radiactiva del grupo.

En la mayoría de polidispersión de aerosoles, la función de distribución normal hace un trabajo pobre de representar la distribución en función del tamaño de la partícula. Sin embargo, el logaritmo del tamaño de partícula representado por una distribución normal es un buen representante, de ahí, que la distribución normal comúnmente es usada estadísticamente para describir polidispersiones de partículas. En el Hotspot se asume que la mediana de actividad del diámetro aerodinámico (AMAD) es 1 micrómetro (la desviación geométrica estándar es 3).

La figura inferior representa la distribución de actividad acumulada para la distribución normal con un AMAD de 1  $\mu\text{m}$ ., notar que el 50 % de la actividad esta asociada con partículas con un diámetro aerodinámico menor de 1  $\mu\text{m}$ , y esencialmente toda la actividad "respirable" esta por debajo de partículas con un diámetro aerodinámico de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$ . Los valores por defecto de la ICRP-30 para factores de conversión de dosimetría internos también asumen una distribución de tamaño de partícula 1- $\mu\text{m}$  AMAD. En muchos modelos y estudios, la fracción respirable comúnmente es definida como " todo el material con un diámetro aerodinámico menor de 10 micrómetros. "

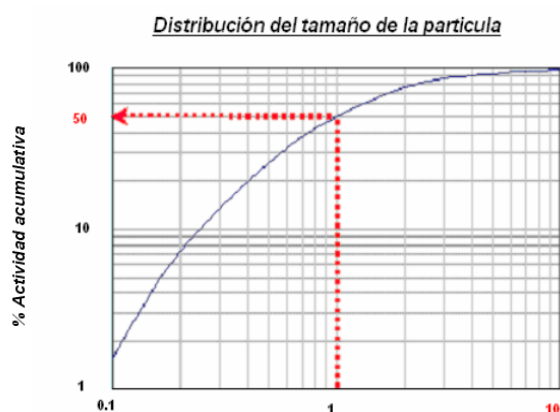


Figura 3.7.21.1.5.1 Diámetro aerodinámico en  $\mu\text{m}$  (La ICRP 30 asume en los estándares de dosimetría interna 1-  $\mu\text{m}$  AMAD)

El adoptar la distribución en términos de diámetro aerodinámico estandariza la distribución tanto en la forma de partícula como en la densidad. El diámetro aerodinámico es el diámetro de una densidad unidad (1  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) que tiene la misma velocidad que la partícula real. Si una partícula tiene un diámetro aerodinámico de 1  $\mu\text{m}$ , esta se comporta en un sentido aerodinámico como una gotita 1- $\mu\text{m}$  de agua independientemente de la forma de la partícula, la densidad, o el tamaño físico.

### 3.7.21.1.6. Determinación de $\sigma_y$ y $\sigma_z$

Una vez que la categoría de estabilidad atmosférica ha sido determinada, el Hotspot usa las ecuaciones anteriores para estimar  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  para dos tipos estándar terreno y ciudad. El factor de ciudad representa la dispersión del penacho aumentada por las estructuras elevadas y las características de retención de calor de superficies urbanas, como el asfalto y el hormigón. El factor de ciudad estimará concentraciones inferiores que el factor estándar terreno, debido a que la dispersión aumenta por las estructuras grandes y los materiales urbanos.

El esquema más extensamente usado para estimar  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  fue desarrollado por Pasquill (1961). Briggs (1973) combinó las curvas de Pasquill con curvas sacadas de datos observados en el Laboratorio Brookhaven Nacional y la Autoridad de Valle del Tennessee, incluyendo observaciones a sotavento a distancias de 10 kilómetros. Briggs incorporó conceptos teóricos en cuanto a los límites asintóticos de los fórmulas para producir un juego extensamente usado de ecuaciones para  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ . Las ecuaciones son asociadas con experimentos de dispersión conducidos sobre superficies cortas herbosas con longitudes en

la gama de 0.01 metros a 0.1 metros. Los fórmulas de Briggs son aplicables desde una distancia de 0.1 kilómetros a aproximadamente 10 kilómetros y se cree sean aplicables a 20 o 30 kilómetros, aunque Briggs no recomienda esta extensión. Las formulas son comúnmente usadas para distancias de hasta 100 Kms.

Las siguientes ecuaciones se usan para determinar  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  en el método de Briggs, 1973. (x= distancia a favor del viento en metros)

*Terreno estándar*

Tipo Pasquill	$\sigma_y$ (metros)	$\sigma_z$ (metros)
A	$\frac{0.22x}{\sqrt{1+0.0001x}}$	0.20x
B	$\frac{0.16x}{\sqrt{1+0.0001x}}$	0.12x
C	$\frac{0.11x}{\sqrt{1+0.0001x}}$	$\frac{0.080x}{\sqrt{1+0.0002x}}$
D	$\frac{0.08x}{\sqrt{1+0.0001x}}$	$\frac{0.060x}{\sqrt{1+0.0015x}}$
E	$\frac{0.06x}{\sqrt{1+0.0001x}}$	$\frac{0.030x}{1+0.0003x}$
F	$\frac{0.04x}{\sqrt{1+0.0001x}}$	$\frac{0.016x}{1+0.0003x}$

*Terreno ciudad*

Tipo Pasquill	$\sigma_y$ (metros)	$\sigma_z$ (metros)
A-B	$\frac{0.32x}{\sqrt{1+0.0004x}}$	$0.24x\sqrt{1+0.001x}$
C	$\frac{0.22x}{\sqrt{1+0.0004x}}$	0.20x
D	$\frac{0.16x}{\sqrt{1+0.0004x}}$	$\frac{0.14x}{\sqrt{1+0.0003x}}$
E-F	$\frac{0.11x}{\sqrt{1+0.0004x}}$	$\frac{0.08x}{\sqrt{1+0.0015x}}$

### 3.7.21.1.7. Geometrías de emisión

El Hotspot utiliza los siguientes tipos de **geometrías de emisión**:

- Fuente superficial a nivel del suelo
- Fuente superficial elevada
- Fuente lineal a nivel del suelo

Figura 3.7.21.1.7.1 Fuente superficial emisión a nivel del suelo

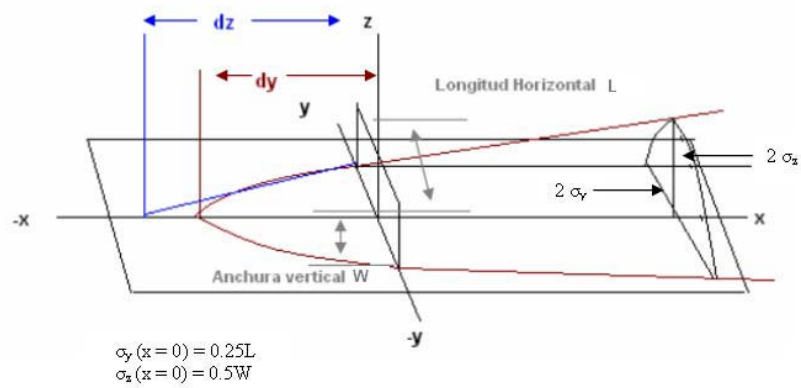


Figura 3.7.21.1.7.2 Fuente superficial elevada sobre el suelo

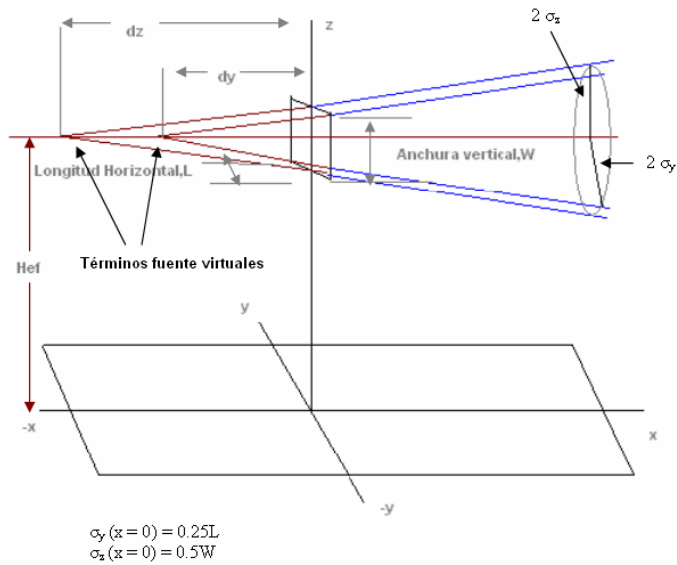
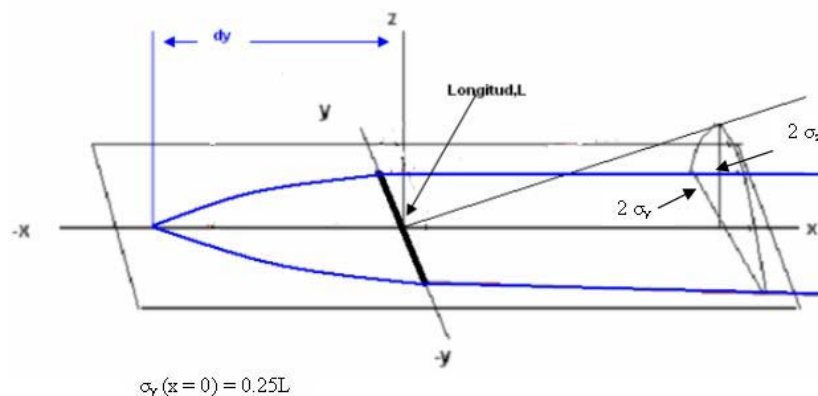


Figura 3.7.21.1.7.3 Fuente lineal sobre el suelo



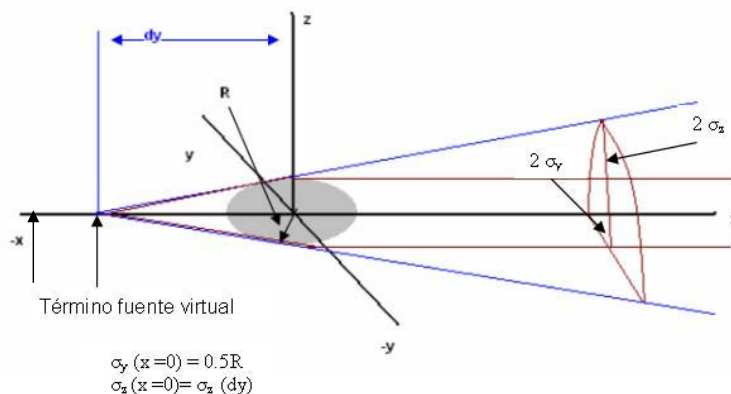
### 3.7.21.1.8. Conversión de unidades (librerías)

Para el cálculo de **conversión de unidades**, el Hotspot utiliza en sus librerías las tablas que relacionan unidades clásicas de actividad (dpm) sistema internacional (Bq), actividad superficial sistema internacional (Bq/m<sup>2</sup>), concentraciones en líquidos sistema internacional Bq/l y clásico Ci/l y concentraciones en aire Ci y Bq por m<sup>3</sup>

### 3.7.21.1.9. Resuspensión

Parte del material radiactivo que se deposita en el suelo por efecto de la gravedad, pasará de nuevo a difundirse en el ambiente debido a los fenómenos meteorológicos y otro tipo de fenómenos de “arrastre”, en el modelo Hotspot la evaluación de este fenómeno que dará origen a nuevos cálculos de dosis por sumersión, se hace de la siguiente manera:

Figura 3.7.21.1.9.1 Modelo geométrico de la resuspensión



Una fuente virtual se coloca en la dirección del viento, el término fuente virtual se coloca en dirección del viento a una distancia en que la y incluye un radio que contiene una

zona de contaminación con el 50% de el radio efectivo de entrada. El factor de resuspensión (S) para una velocidad del viento (u) de 3 m/s o menor (Anspaugh, 1975) será:

$$S = 10^{-4} e^{-0.5\sqrt{t}} + 10^{-9} \text{ m}^{-1}$$

donde t=tiempo desde que se produjo la contaminación(días)

La Resuspensión es un factor de la velocidad del viento:

$$S(u) = S \times (u/3)^2 \text{ para } u > 3 \text{ m/s}$$
$$S(u) = S \text{ para } u \leq 3 \text{ m/s}$$

La desviación standard Gaussiana es evaluada a la distancia igual a la distancia desde el origen de un punto fuente virtual en la dirección del viento.  $Q_{eff}$  puede ser usado en la ecuación Gaussiana para estimar la concentración del radionucleido en la dirección del viento.

Nota: El factor de resuspensión se determina mediante medidas de contaminación del suelo ( $C_i/m^2$ ), y las concentraciones de radionucleido en el aire sobre el suelo en la zona de medida ( $C_i/m^3$ ). El factor de resuspensión se define como la relación entre la concentración en el aire y el suelo ( $m^{-1}$ ).

La dosis equivalente comprometida a 50 años (50-year committed effective dose equivalents) son calculadas para una hora de tiempo de permanencia. De esta manera un individuo estará comprometido en su dosis por cada hora de exposición. El tiempo de muestreo asociado con la resuspensión es automáticamente cambiado de los habituales 10-min a 60-min. Los factores de resuspensión están basados datos experimentales de Nevada Test Site, y no son necesariamente aplicables a lugares húmedos etc., los cálculos del sistema son conservadores y pueden ser modificados si se le suministra el parámetro experimental adecuado.

#### 3.7.21.1.10. Tiempo de muestreo (Sampling Time)

Las ecuaciones para la desviación standard de la concentración Gaussiana en la dirección transversal ( $\sigma_y$ ) son representativas para observaciones de la pluma de 10 minutos. En el Hotspot el tiempo promedio de medida se denomina tiempo de muestreo, la concentración en dirección del viento disminuye cuando aumentamos este tiempo por que aumenta  $\sigma_y$ , en el Hotspot los tiempos de muestreo son de 10 min pero se puede cambiar a 60 min. En el caso de explosiones este tiempo es fijo de 10 min. En el Hotspot, en la siguiente ecuación se ajustan los tiempos de muestreo diferentes de 10 min. (Hanna, et al., 1982; Gifford, 1975 )

$$\sigma'_y = \sigma_y \left[ \frac{t}{10} \right]^{-0.2} \text{ donde,}$$

$\sigma_y$ = desviación estándar de 10 minutos de la distribución de la concentración.

$\sigma'_y$ = desviación estándar para el tiempo promediado ,t.

### 3.7.21.1.11. Equivalente TNT

Una medida de la energía liberada de la detonación de un arma nuclear, o de la explosión de una cantidad dada de material fisionable, en términos de la cantidad de TNT (trinitrotolueno) que podría liberar la misma cantidad de energía cuando se ha hecho explotar.

### 3.7.21.1.12. Variación de la velocidad del viento con la altura

El sistema utiliza la velocidad del viento a 2 mts de altura sin embargo el modelo Gaussiano requiere esta medida a la altura H (altura efectiva de la emisión) para hacer esta transformación el Hotspot usa la siguiente fórmula.

$$u(H) = u(2) \left[ \frac{H}{2} \right]^P, \text{ donde}$$

u(2)= velocidad del viento en superficie(m/s) a 2m de altura

Heff= Altura efectiva alcanzada(m)

P= Factor de la siguiente tabla

Factores exponenciales usados en el Hotspot para calcular las variaciones de la velocidad del viento en función de la altura (Irwin, 1979).

#### *Terreno Standar*

Estabilidad		Tipo			
A	B	C	D	E	F
0.07	0.07	0.10	0.15	0.35	0.55

#### *Terreno urbano*

Estabilidad		Tipo			
A	B	C	D	E	F
0.15	0.15	0.20	0.25	0.40	0.60

### 3.7.21.1.13. Velocidad de deposición

La velocidad de deposición (en las unidades de cm/s) empíricamente es definida como la proporción del flujo de deposición observado (en las unidades de  $\mu\text{Ci} / \text{cm}^2\text{-s}$ ) y la concentración de aire observada cerca de la superficie de tierra ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ).

El Hotspot usa una metodología de velocidad de deposición dual. Una velocidad de deposición separada es usada para la partícula respirable (el diámetro aerodinámico de menos de 10 micrómetros) y otra para la partícula no-respirable (mayor que el diámetro aerodinámico de 10 micrómetros) en el término fuente. Los valores por defecto son:

Velocidad de Deposición del término fuente respirable = 0.3 cm/s

Velocidad de deposición del término fuente no respirable= 8 cm/s

Termino fuente no respirable = (Total material en el evento)(fracción emitida no respirable).



### 3.7.21.1.14. Exposición por inhalación de la pluma

La Biblioteca del Hotspot contiene coeficientes de dosis para el caso de entrada de un radionucleido por la inhalación. Los coeficientes de dosis representan la dosis durante un período de 50 años después de la entrada (Sv Bq-1 inhalado) (o el rem Ci-1 inhalado). Los coeficientes de dosis son para la partícula por defecto de tamaño 1 mm (AMAD), excepto unos casos en los cuales el tamaño de partícula no es relevante (p.ej., para vapores). Estos datos son extraídos de la FGR-11 Opción (ICRP-30 Modelo Pulmonar y metodologías). La versión ampliada versión de la tabla 2.1 del informe de la Federal Guidance Report No 11.

Para cada radionucleido, los coeficientes de dosis de inhalación son incluidos para cada una de las clases de diluciones pulmonares aplicadas en la publicación ICRP 30 (1977, 1980, 1981, 1988). Estas tres clases son "D", "W", y "Y", explicadas anteriormente. "V" se refiere a la dilución rápida para las formas de vapor de algunos elementos. Tres clases de dilución son usadas para el carbono: "c", aplicado a compuestos etiquetados orgánicos, "m", aplicado a monóxido de carbono, y "d", aplicado a dióxido de carbono; las diferencias de las tres clases son asociadas principalmente con diferencias de las cantidades relativas de carbono depositado exhalado y absorbido en la sangre y la biocinética del carbono después de la absorción en la sangre.

Para radionúclidos incluidos en la parte 1 de Publicación ICRP 30 (1979), dan un coeficiente de dosis de inhalación de 0.0, para el cerebro. Esto es porque el cerebro no fue incluido en el fantoma humano usado en la dosimetría ICRP hacia el final de la Parte 1, y porque no hay ningún sustituto conveniente para el cerebro entre los órganos referenciados.

Tabla 3.7.21.1.14.1 Factores de peso, Publicación ICRP 26 (1977) y Publicación ICRP 60 (1991) \*.

Factor de peso de los tejidos (wT)		
Órgano o tejido	ICRP 26	ICRP 60 (1991)*
Gónadas	0.25	0.20
Medula ósea	0.12	0.12
Colon		0.12
Pulmón	0.12	0.12
Estómago		0.12
Vejiga		0.05
Pecho	0.15	0.05
Hígado		0.05
Esófago		0.05
Tiroides	0.03	0.05
Piel		0.01
Médula ósea	0.03	0.01
Resto	0.30	0.05

\*Los valores fueron desarrollados para una población de referencia de números iguales de ambos sexos y una amplia gama de años. En la definición de dosis eficaz se aplican a trabajadores, a la población entera, y a ambos sexos. FGR opcional 13 Inhalación DCF valores.FGR-13 Opción (ICRP-66 Modelo Pulmonar y serie ICRP 60/70 metodologías).

La inhalación de material radiactivo, absorción a la sangre (y la redistribución subsiguiente a órganos específicos), es una combinación de absorción directa de material soluble y la absorción de material disociado de partículas inhaladas. La tasa de esta absorción es muy dependiente de tiempo.(Eckerman,K.F. et al, 1996) (Eckerman,K.F. et al, 1993) (EPA, 1988)

### 3.7.21.1.15. Dosificación Eficaz (ECt)

Es la exposición acumulativa, expresada como la concentración de un material biológico o químico integrado sobre el período de tiempo de exposición (la concentración de aire p.ej. integrada - [seg.gramo]/m<sup>3</sup>) que produce algún efecto asociado definido. Esta concentración a menudo se asocia con un porcentaje dado (el XX %) de la población que experimenta el efecto indicado, que es denotado como ECtXX. Por ejemplo, la dosificación eficaz de una sustancia química que produce la incapacidad en el 25 % de la población expuesta sería expresada como ECt25, o bien como ICt25 con una explicación de acompañamiento que es el que "I" se refiere a la incapacidad. Otra notación típicamente usada pertenece a efectos que causan la mortalidad en la población, en el caso de que el ECt es anotado como un LCT. si, por ejemplo, el ECt es que causa la muerte en el 50 % de la población expuesta, el ECt es equivalente al LCT50, donde "el L" es asumido para referirse a efectos mortales.

### 3.7.21.1.16. Dosis Eficaz (Effective Dose ED)

Dosis Eficaz: Es la cantidad de material biológico o químico en el cual es tomado o absorbido por el cuerpo y produce algún efecto asociado indicado. A diferencia de la dosificación eficaz, que es una concentración integrada por tiempo, la dosis eficaz simplemente es expresada como una cantidad total de material (p.ej. esporas, gramos, etc.). Sin embargo por lo general esta asociada con un porcentaje dado de la población que sufre un determinado efecto, para lo cual usa la notación similar como la que se ha descrito antes para la dosificación eficaz. Por ejemplo, LD30 representa la dosis eficaz de un material que causa la mortalidad en el 30 % de la población expuesta.

### 3.7.22. Nomenclatura utilizada en las Guías para Acciones Protectoras (Protective Action Guides (PAGs) ) Agencia Federal de Emergencias-EPA (EE.UU, 1991).

Este organismo dicta normas de actuación ante las diferentes clases de emergencias entre las que se incluyen las nucleares-radiológicas, concretamente dicta una serie de valores de "dosis proyectadas" a las que se sometería la población sin tomar medidas protectoras, se aplican a cualquier liberación atmosférica que causa la exposición del gran público a materiales radiactivos. El PAGS incluye niveles de dosis equivalentes en los que los efectos inmediatos sobre la salud son improbables. Se basan en una evaluación del riesgo asociado a los individuos expuestos respecto del desarrollo de cáncer durante su vida, o el riesgo de producir desórdenes genéticos en generaciones subsecuentes. Estos niveles de referencia de dosis son diferentes según las diferentes fases de la emergencia que considera las PAGs:

#### 3.7.22.1.1. Fase Temprana:

Son las primeras horas o días desde que se produce el incidente, cuando las medidas deben ser inmediatas para proteger la población expuesta de la radiación producida por el material disperso en el aire o el depositado en superficie. En esta fase la dosis proyectada se expresa en términos de TEDE (Dosis Total Equivalente Efectiva) debida a la exposición durante un período de 4 días, o en términos de CDE (Concentración Dosis Equivalente ) para aquellos materiales que producen una exposición especial del tiroides o de la piel. Las acciones protectoras asociadas serían la evacuación (el retiro urgente a corto plazo de la población), el abrigar (refugiar a la población), y en caso de la presencia de yodos aerotransportados radiactivos la administración de yodo estable.

#### 3.7.22.1.2. Fase Intermedia:

La fase intermedia del incidente cubre el período de tiempo después de que la fuente del material radiactivo ha sido controlada y cuando las medidas ambientales están disponibles para determinar las consecuencias a más largo plazo. Este período por lo general dura de semanas a meses. Hay dos clases de fase intermedia:

**Con Reubicación:** La dosis proyectada considera el retiro o la exclusión continuada de la población para evitar la irradiación crónica.

**Sin reubicación:** La deposición del material radiactivo puede seguir produciendo dosis de radiación a individuos durante períodos amplios, directamente por el “ground shine” (irradiación desde el suelo por la deposición) o por la inhalación de partículas suspendidas de nuevo (resuspensión). Una TEDE proyectada para el primer año se define para el caso de la reubicación. Objetivos adicionales de más largo plazo han sido establecidos y limitan la TEDE proyectada en cualquier año subsecuente solo, y durante los 50 primeros años.

#### 3.7.22.1.3. Ingestión PAGs

La Agencia Federal para la Administración de Drogas y Alimentos estadounidense (FDA) ha desarrollado PAGs basadas en dosis proyectadas CEDEN O CDE concentraciones de dosis equivalentes efectivas a órganos específicos como resultado de la ingestión de materiales radiactivos (FDA 1998). La deposición de materiales radiactivos en cosechas, pienso, y el agua puede conducir a la ingestión humana de estos materiales. Hay varios vías potenciales por las cuales el alimento contaminado puede alcanzar el gran público. Estas incluyen el consumo directo de productos contaminados (verduras p.ej. de hoja ancha) y el consumo de animales (p.ej. la ternera) o productos de animal (p.ej. la leche) después que el animal ha ingerido comida contaminada. Las áreas típicamente geográficas que esperan exceder un valor de PAGs se delimitan en el plano con su valor de dosis proyectada.

Para ayudar en la identificación de los niveles restrictivos de contaminación superficial que corresponden a la ingestión PAGs, la FDA ha estipulado **Niveles Derivados de Intervención (DILs)**. Los DILs expresan la concentración de radiactividad en varios productos de alimentación (verduras, carnes, etc.) que, usando suposiciones sobre el consumo de alimentos, causarán dosis que exceden los límites de la ingestión PAGs. Los **Niveles de Respuesta Derivados (DRLs)** expresan los niveles de deposición de radiactividad de un material particular (p.ej. Plutonio, Cesio, etc.). Los DRLs son usados para trazar un mapa de las áreas que tarde o temprano conducirán a dosis de ingestión superior al PAGs. DRLs dependen de el material radiactivo así como de la vía de consumo.

#### 3.7.22.1.4. Dosis de radiación efectos sobre la salud

Las vías de exposición a la radiactividad en las personas expuestas puede ser debidas en el caso de la contaminación interna a la inhalación, ingestión, permeabilidad de la barrera cutánea y en el caso de la exposición externa debido a las fuentes de radiación externas con emisiones adecuadas.

La toxicidad radiológica de un determinado material radiactivo y las dosis a órganos una función de:

- tipo de radionúclidos e hijos, tipo de radiación y energías.
- la vida media del radionúclidos y sus hijos.

- la vía de entrada
- tamaño y solubilidad del aerosol.
- la sustancia química y las características biocinéticas del elemento que determinan la retención y la distribución del radionucleido dentro del cuerpo, y la tasa y la vía de excreción.

En la biología de radiación "la dosis" recibida por la entrada de materiales radiactivos mide la cantidad de energía depositada por gramo de tejido durante un período especificado de tiempo. Esta dosis (típicamente en las unidades de rad o de Grays) entonces puede ser relacionada con el daño a corto plazo biológico, y los riesgos de más a largo plazo de inducción de cáncer.

Para evaluar los efectos agudos de la incorporación de radionúclidos al organismo el período de tiempo para integrarlos será estimado en los 30 a 60 primeros días después de la entrada.

Al contrario en la protección ocupacional de la radiación, las dosis internas de radiación comúnmente son especificadas en términos de la dosis total recibida durante un período de 50 años después de la entrada. Así, " un equivalente de dosis de órgano comprometido " es el equivalente de dosis recibido por un órgano especificado durante el período entero de 50 años después de la entrada. También, ya que los límites de dosis ocupacionales están basados en la limitación del riesgo total de cáncer, " una dosis eficaz " (una suma de dosis de órgano ponderadas por el riesgo) se usa como un límite regulador.

#### **3.7.22.1.5. Efectos estocásticos y deterministas**

Los efectos de salud debido a la exposición a la radiación ionizante son clasificados como estocástico o determinista (antes llamado no estocástico). Efectos estocásticos ocurren al azar y la probabilidad del ocurrir del efecto, más bien que su severidad, es asumida como una función lineal de dosis sin un umbral. Efectos estocásticos pueden ser resultado de la lesión de una célula sola o un pequeño número de ellas y las consecuencias principales, son los efectos hereditarios y los efectos de cancerígenos.

Los efectos deterministas son resultado de la lesión colectiva de un número importante de células en tejidos. La severidad del daño es una función de la dosis y si existe una dosis umbral por debajo de la cual no existen daños. Efectos deterministas son los primeros que se observaron tales como las cataratas radioinducidas, lesiones cutáneas, lesiones hematológicas por afectaciones medulares, esterilidad, etc... Los límites de protección para trabajadores expuesto a a estas radiaciones se fijan para prevenir la presencia de efectos deterministas y limitar los efectos estocásticos con un nivel aceptable.

#### **3.7.22.1.6. Síndrome agudo de radiación**

Los órganos consideramos para este síndrome son habitualmente la médula ósea, el intestino delgado, y los pulmones. En el Hotspot se asume que dosis agudas (p.ej., la dosis recibida en 1 día o menos) de 300 rads, 1,500 rads, y 1,000 rads, a esos órganos causarán daños importantes y posiblemente irreversibles para estos órganos. Para dosis recientes (p.ej., la dosis recibida en los 30 primeros días), las dosis correspondientes son de 600 rads, 1,500 rads, y 4,000 rads, a la médula ósea, pared del intestino delgado o pulmones, respectivamente.

### 3.7.22.1.7. Efectos sobre la salud de los efectos estocásticos ( Cáncer)

En dosis inferiores, la preocupación fundamental es la posible inducción de cánceres o leucemia. Las estimaciones de riesgos de cáncer (la morbilidad y la mortalidad) para radionúclidos depositado internamente están en parte basadas en las exposiciones externas de poblaciones humanas (p.ej., los sobrevivientes de Hiroshima y de Nagasaki), en parte sobre estudios de animales, y en un grado menor, sobre la experiencia misma limitada humana con dosis internas de radiación (National Research Council, National Academy of Sciences, 1988).

### 3.7.22.1.8. Dosis Absorbida

Es la cantidad de energía que una radiación libera en la materia por unidad de masa, no refleja los efectos biológicos asociados, sus unidades son el rad o el Gray en el SI.

### 3.7.22.1.9. Tasa de Dosis

Una dosis de radiación puede ser dada en corto período (los rayos médicos x) o puede ser dada durante muchos meses o años (la exposición a la radiación natural de fondo). Además, la dosis puede ser recibida en una única exposición o puede ser fraccionada en varios períodos de exposición, p.ej., la radioterapia de cáncer. Para el Hotspot se trata la dosis recibida en un día como irradiaciones agudas. La tasa de dosis es en general la dosis por unidad de tiempo por ejemplo dosis absorbida Gy/min.

Los efectos biológicos de una irradiación aguda aparecen dentro de los primeros minutos a semanas, dependiendo de la dosis recibida y la fracción del cuerpo total expuesto a la radiación. Un irradiación aguda puede producir alopecias, quemaduras, cataratas, esterilidad, cuando las dosis superan los 50 rads puede causar aplasia medulares, diarreas, vómitos, y fiebre; altas dosis (mayor que 500 rads) pueden causar la desorientación, el coma, y la muerte. En el Hotspot se usa el período de integración de tiempo de 30 días.

### 3.7.22.1.10. El tipo de Radiación

Las mismas dosis de radiación pueden producir efectos biológicos muy distintos, ello en buena parte es debido a la cantidad de energía que cada tipo distinto de radiación deja en el mismo medio por unidad de longitud, esta magnitud física se denomina el LET (Linear Energy Transference Kev/ $\mu$ m) por ejemplo los rayos x tienen LETs bajos y las partículas alfas valores de 150.

Para calcular la respuesta equivalente biológica de varios tipos de radiación, se define el concepto de dosis equivalente (H)

$$H = Q \cdot D$$

donde:

H	=	dosis equivalente en rem/Sv
D	=	dosis absorbida en rad/Gy
Q	=	factor de calidad

El factor de calidad es depende del LET de la radiación

El Hotspot dirige sus predicciones hacia el cálculo de los efectos tempranos de las dosis agudas de radiación y usa una unidad de dosis absorbida que ha sido modificada por un valor de RBE asociado con efectos agudos/tempranos deterministas.

$$Hr = RBE \cdot D$$

Donde:

Hr	=	RBE-dosis absorbida ponderada, rad-equivalente
D	=	dosis absorbida, rad
RBE	=	eficacia biológica relativa, adimensional

EL FRMAC, NARAC (agencias federales EE.UU.), y el Hotspot usan esta metodología de dosis equivalente para determinar la dosis absorbida RBE-PONDERADA a los pulmones debida a la inhalación de radiación de alta-LET .

### 3.7.23. Otros tipo de definición de dosis utilizados en el Hotspot

Dosis equivalente efectiva EDE (Effective Dose Equivalent): la dosis equivalente por órganos individuales puede ser combinada (por el empleo de factores de ponderación en los tejidos) para calcular la suma de las dosis equivalentes aplicada al cuerpo entero. Cuando esto es hecho la dosis pasa a ser la dosis equivalente efectiva (EDE).

Dosis equivalente comprometida CDE (Committed Dose Equivalent ): El material radiactivo en parte puede ser retenido por el cuerpo y someter al individuo a una exposición a lo largo de su vida. Una vez el material es retenido por el cuerpo, poco se puede hacer para evitarlo y por lo tanto su consecuente irradiación. (CDE) es la dosis equivalente que sería deliberada a un órgano o tejido particular (pulmones, hígado, riñones, tiroides,etc.) durante un intervalo de tiempo por ejemplo 50 años desde la incorporación del material al cuerpo, así es como la utiliza el Hotspot.

Dosis equivalente comprometida a 50 años CDE (50-Year Committed Dose Equivalent): La Dosis equivalente comprometida a 50 años recibida por un órgano del individuo es la debida a permanecer en una localización específica durante la totalidad de la emisión del material radiactivo. La dosis se calcula multiplicando la concentración integrada en aire por los factores de conversión (DCF) existentes en el Hotspot:

$$50\text{-year CDE (T)} = \text{Chi} ([\text{Ci-s}]/[\text{m}^3]) \times \text{DCF(T)} ([\text{rem-m}^3]/[\text{Ci-s}] \text{, rem})$$

donde:

T es el órgano diana aplicable (por ejemplo el pulmón, y DCF(T) es el factor de conversión de dosis para ese órgano).

La Dosis Equivalente Efectiva Comprometida CEDE (Committed Effective Dose Equivalent) : Es la suma de las CDE de los órganos y tejidos individuales usando los correspondientes factores de ponderación calculados como una combinación de las dosis aplicadas a la totalidad del organismo.

La CEDE (rem, Sv) recibida por un individuo debido a permanecer en un lugar específico durante la totalidad de la emisión de material radiactivo es la suma de los mismos valores aplicados por tejidos en cada caso multiplicado por su factor de peso.

Dosis Equivalente Efectiva Total TEDE (Total Effective Dose Equivalent): el material radiactivo puede producir una dosis equivalente externa o interna, la TEDE es la suma de las EDE causadas por la irradiación externa más las CEDE causadas por la contaminación interna, La TEDE es la expresión más completa de las dosis recibidas por las diferentes vías de exposición.

CEDE vs. TEDE. Los cálculos de dosis del Hotspot, siempre incluyen la sumersión en la nube.

$$\text{TEDE} = \text{CEDE (inhalación)} + \text{EDE (sumersión)}$$

Puede elegirse la opción incluir 4 días de exposición a la irradiación del suelo ("ground shine"), entonces el TEDE será:

$$\text{TEDE} = \text{CEDE (inhalación)} + \text{EDE (sumersion)} + \text{EDE (ground shine)}$$

La dosis total RBE-ponderada a un órgano TOD (Total RBE-weighted Organ Dose): es la suma para cada órgano considerando las exposiciones externas y las internas en este caso con la 30 días dosis absorbida ponderada comprometida. La TOD es la expresión más completa de las dosis recibidas por todas las diferentes vías de exposición que considerara los efectos agudos y efectos tempranos deterministas sobre la salud.

$$\begin{aligned} \text{TOD} = & \text{Committed RBE-weighted Absorbed Dose (inhalation)} \\ & + \text{RBE-weighted Absorbed Dose (cloud shine)} \\ & + \text{RBE-weighted Absorbed Dose (ground shine)} \end{aligned}$$

#### 3.7.24. Sistema de evaluación del riesgo radiobiológico

Tal y como se ha explicado en el modelo del simulador escogido para determinar las dosis de exposición en el incidente (HOTSPOT), las dosis estimadas son el producto de la exposición al isótopo radiactivo suspendido en la nube radiactiva, la exposición debida a cuatro días de presencia en la zona con la contaminación superficial producida por la deposición del isótopo sobre el suelo y otras superficies expuestas y la exposición interna debida a la entrada en el organismo del receptor de parte de ese material radiactivo, estos últimos efectos se consideran a cincuenta años. La dosis utilizada para la estimación de riesgos es la denominada como TEDE en Sv (Total Effective Dose Equivalent) descrita en el apartado correspondiente.

Para calcular el detrimento radiológico, se han utilizado varios modelos diferentes con la finalidad de contrastar sus resultados, el primero de ellos es un simulador realizado en el Proyecto Wise-Uranium (NIRS, WISE) y el otro simulador con el que obtendremos dos estimaciones distintas, es el denominado como RADRISK (Ramos M et al, 2005), que se basa en los modelos de transporte procedentes de estudios epidemiológicos de poblaciones expuestas a fuentes de radiaciones ionizantes, tales como los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000), estos estudios nos han permitido comprender de manera cualitativa y cuantitativa la incidencia del cáncer después de las exposiciones (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 1994) así como en un estudio de cohortes realizado en una población y un período determinados,

tendente a estimar la incidencia de cánceres o la mortalidad de individuos expuestos a aplicaciones médicas o exposiciones ambientales, realizado por Preston y colaboradores (2007) (Studies of the mortality of A-bomb survivors. Report 12,1950-1990) que ha servido como Life Span Study (estudio del ciclo vital de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki).

#### **La hipótesis lineal-sin umbral.-**

Para poder desarrollar un sistema de protección radiológica es necesario conocer, y además de una forma cuantitativa, la relación existente entre dosis y los efectos. En el caso de los efectos deterministas es relativamente sencillo conocer dicha relación, pues se ha constatado que existe una dosis umbral para su ocurrencia y que, además, la gravedad del efecto es proporcional a la dosis. No sucede así en el caso de los efectos estocásticos ya que la información disponible sobre la aparición de dichos efectos a los niveles de dosis típicos de la protección radiológica (unos pocos mSv por año) es prácticamente nula.

En efecto, los estudios epidemiológicos han constatado la inducción de cáncer por exposición a altas dosis de radiación (superiores a 150 mSv) pero, hasta la fecha, ninguno de esos estudios ha permitido evidenciar la aparición de efectos estocásticos en el rango de bajas dosis. Este hecho podría inducir a pensar que también hay una dosis umbral para la ocurrencia de efectos estocásticos, pero tal deducción no resultaría válida debido a las limitaciones estadísticas inherentes a los estudios epidemiológicos realizados sobre poblaciones expuestas a bajas dosis de radiación debido a que el cáncer en general es una enfermedad muy frecuente (provoca el 20 % de los fallecimientos) ya que el riesgo de contraer cáncer por exposición radiaciones es muy bajo (5/100.000 por mSv), para obtener resultados estadísticamente válidos (para bajas dosis) los estudios epidemiológicos requerirían poblaciones de varios cientos de millones de personas .

Por otra parte, los conocimientos actuales sobre los mecanismos de acción de las radiaciones a nivel de celular, y las evidencias de diversos experimentos realizados en el ámbito de la radiobiología, parecen apuntar a que, incluso a muy bajas dosis, las radiaciones pueden ocasionar roturas en las dos hélices de la estructura del DNA, con la subsiguiente aparición de una célula mutada, que podría inducir un proceso tumoral. Por tanto, de acuerdo con estas evidencias, no existiría un umbral para la ocurrencia de efectos estocásticos; no obstante, dichas evidencias no pueden calificarse de determinantes.

De hecho, en estos momentos, y a pesar de los numerosos estudios realizados en torno a esta problemática, la realidad es que no existen pruebas científicas concluyentes que permitan avalar (o negar) la existencia de una dosis umbral para la aparición de efectos estocásticos.

Ante la ausencia de evidencias fiables sobre la relación dosis-efecto en el rango de las bajas dosis, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), en una actitud prudente y conservadora, ha asumido la hipótesis de que no existe umbral para la ocurrencia de efectos estocásticos y que, además, existe una relación lineal entre dosis y efectos.

Esta simplificación permite caracterizar la relación dosis-efecto a bajas dosis a partir de la extrapolación lineal de los datos que proporcionan los estudios epidemiológicos sobre la relación dosis-efecto en el rango de las altas dosis. Hay que señalar no obstante que dicha extrapolación no es estrictamente lineal, puesto que ICRP aplica un factor de corrección que denomina DDREF (Dose and Dose Rate Effectiveness Factor) y que tiene en cuenta la importante influencia de la tasa de dosis en la inducción de efectos estocásticos.



La hipótesis lineal-sin umbral presupone que cualquier dosis de radiación, por muy baja que sea, puede causar efectos nocivos en la salud de las personas y constituye la premisa de partida para establecer los principios básicos de protección radiológica, el principio de mantener las exposiciones a las radiaciones ionizantes tan bajo como sea razonablemente posible, principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) (Amor Calvo, 2000), (Amor Calvo, 2002).

#### **Factores de riesgo. Modelos de proyección**

La hipótesis lineal-sin umbral permite una notable simplificación en todos los aspectos relacionados con la relación dosis-efecto. Así, por ejemplo, para cuantificar el riesgo derivado de la exposición a determinada dosis de radiación no habría más que acudir a los datos sobre inducción de cáncer que proporcionan los estudios epidemiológicos, y que se refieren al número de casos por unidad de dosis y, sobre esos datos, aplicar (como divisor) el factor DDREF.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que dichos datos se refieren al número de casos evidenciados en el momento en que se realiza el estudio epidemiológico, pero no de los casos que (como consecuencia del período de latencia) están aún por evidenciarse en la población estudiada.

Para tratar de cuantificar estos "casos ocultos" es necesario acudir a la utilización de los denominados "modelos de proyección del riesgo". Los datos de Hiroshima y Nagasaki muestran que, para un mismo valor de la dosis, hay menos casos de cáncer cuanto menor sea la tasa de dosis. Si los datos de los estudios epidemiológicos (que corresponden a altas dosis) muestran N casos de cáncer por Sv, y habida cuenta que DDREF=2, en el rango de bajas dosis (las habituales en protección radiológica) se debe asumir que se producirían N/2 casos por Sv.

Hasta las recomendaciones de ICRP-60 se venía haciendo uso de un modelo de riesgo absoluto (modelo aditivo) que presupone que, tras la exposición a las radiaciones, y transcurrido el período de latencia, la probabilidad de aparición de cáncer es (únicamente) proporcional a la dosis. El modelo aditivo sirve para aquellos tipos de cánceres en que la tasa de inducción natural no depende de la tasa de radioinducción, es decir, la misma dosis produce los mismos cánceres en poblaciones diferentes, el modelo aditivo se utiliza para aquellos cánceres en que la tasa de inducción natural influye en la tasa de radioinducción.

En las recomendaciones de ICRP-60 (International Commission on Radiological Protection, 1990) se hace uso de un modelo de riesgo relativo (modelo multiplicativo) que presupone que, tras la exposición a las radiaciones, y transcurrido el período de latencia, la probabilidad de aparición de cáncer es proporcional a la dosis y también a la tasa de aparición de cáncer en función de la edad.

La aplicación del modelo multiplicativo a los datos proporcionados por los estudios epidemiológicos, y la consiguiente consideración del factor DDREF, conducen a los factores de riesgo que se muestran en la tabla adjunta (expresados en % por mSv<sup>(\*)</sup>), que permiten cuantificar la probabilidad de aparición de efectos estocásticos o, lo que es lo mismo, la relación dosis-efecto:

Tabla 3.7.24.1 Factores de riesgo ICRP 60

Población expuesta	Cáncer mortal	Efectos hereditarios
Trabajadores expuestos	$4.0 \times 10^{-5}$	$0.8 \times 10^{-5}$
Público en general	$5.0 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-5}$

### **La controversia entorno a las recomendaciones de icrp-60**

Las recomendaciones básicas de ICRP-60 han suscitado gran controversia y serias críticas por el conservadurismo utilizado para cubrir las incertidumbres sobre los efectos biológicos de las radiaciones. Hay que destacar al respecto que, en 1995, la Academia de Ciencias Francesa publicó un informe en el que se planteaban serias dudas sobre algunas de sus bases científicas, en especial en cuanto a la validez de la hipótesis lineal-sin umbral; de acuerdo con este informe:

- Los conocimientos actuales sobre los efectos de las radiaciones ionizantes sobre el ADN no permiten demostrar que se produzcan efectos estocásticos en los niveles de dosis habituales en protección radiológica.
- Las investigaciones realizadas sobre la relación dosis-efecto han puesto de manifiesto algunos efectos beneficiosos de la radiación (hormesis) que no han sido contemplados en ICRP-60, Hay evidencias de que una exposición a bajas dosis de radiación puede resultar beneficiosa para la salud como resultado de un aumento en la capacidad de respuesta del sistema inmunológico, hay evidencias de que una exposición a bajas dosis de radiación estimula la producción de enzimas reparadoras y aumenta su capacidad para hacer frente a exposiciones a altas dosis (respuesta adaptativa).

(\*) Un factor de riesgo de muerte por cáncer de  $5 \times 10^{-5}$  por mSv significa que sobre una población de  $10^5$  personas expuestas, cada una de ellas, a una dosis de 1 mSv cabe esperar (de acuerdo con la hipótesis lineal-sin umbral) cinco casos de muerte por cáncer

Por otra parte y a pesar del importante esfuerzo realizado en ICRP-60 para la clarificación conceptual del sistema de protección radiológica, la realidad es que en la implantación práctica de dicho sistema se han evidenciado importantes problemas. Baste señalar, como muestra, que:

- La hipótesis lineal- sin umbral, que no es sino una alternativa prudente para cubrir las incertidumbres sobre los efectos de las radiaciones, se confunde a menudo con un hecho probado (que no lo es), dando lugar a que el riesgo radiológico se perciba como mucho más importante que lo que en realidad es , La sociedad tiende a identificar a la radiación como un agente carcinogénico tan importante como puede ser el tabaco cuando, en realidad, la radiación ionizante es un agente carcinogénico débil.
- Los aspectos sociales condicionan seriamente el desarrollo de actividades que requieren la exposición continuada del público a muy bajas dosis (como sucede tras el desmantelamiento de una central nuclear) y que, habitualmente, ese público directamente afectado se niega a aceptar.
- La dosis colectiva no constituye una referencia adecuada para la optimización de prácticas que implican una transferencia de riesgos a generaciones futuras (como sucede con el almacenamiento de residuos de alta actividad).

### **Las nuevas recomendaciones básicas de ICRP 103**

En este contexto de controversia, en 1999 el entonces presidente de ICRP (Roger Clarke) publicó un artículo en el que, tras analizar estas dificultades, sugería que había llegado el momento del cambio y proponía las líneas maestras de un nuevo sistema (mucho más simple) que, por una parte, debía resultar más comprensible para el conjunto de la

sociedad y que, por otra parte, debía superar las dificultades que se habían puesto de manifiesto en la puesta en práctica de las recomendaciones de ICRP-60.

A raíz de esa publicación, ICRP decide emprender una revisión de sus recomendaciones de ICRP-60 que, en sus primeras fases, suscitó un enorme debate, debido a que el nuevo sistema que se proponía se valoró por muchos como demasiado "rupturista" con el sistema anterior. Sin embargo, precisamente como resultado de ese debate, las propuestas que se presentaron en fases posteriores del proceso de revisión, fueron bastante más moderadas, resultado cada vez más continuistas con respecto a ICRP-60. Este proceso de revisión culminó en marzo de 2007 con la aprobación de unas nuevas recomendaciones básicas, que quedaron recogidas en la publicación ICRP-103 (que fue hecha pública a finales de 2007) (ICRP 103, 2007).

Las nuevas recomendaciones de ICRP-103 vienen a consolidar el sistema de protección implantado en ICRP-60 y, de hecho, una parte importante de las nuevas recomendaciones está dedicada a clarificar (explicando mejor) conceptos que ya estaban recogidos en ICRP-60, pero que no se habían interpretado adecuadamente.

Como resultado de esa línea continuista con respecto a ICRP-60, en las nuevas recomendaciones de ICRP-103 no hay modificaciones significativas ni en cuanto a las bases científicas del sistema de protección radiológica, ni en cuanto a sus objetivos y principios; así, en las nuevas recomendaciones:

Se mantiene la hipótesis lineal-sin umbral como base de partida para caracterizar la relación dosis-efecto a bajas dosis (se mantiene asimismo el valor DDREF=2) y, aunque se analizan en detalle nuevas evidencias en cuanto a efectos biológicos de la radiación, respuesta adaptativa, "bystander effects" se denominan así a los efectos por los que células que no han resultado directamente irradiadas resultarían afectadas como resultado de los efectos producidos por las radiación en células situadas en su vecindad, etc., la conclusión de ICRP-103 es que dichas evidencias no son suficientemente determinantes como para pensar en modificar las bases biológicas del sistema.

Se mantienen los tres principios básicos del sistema de ICRP-60 (justificación, limitación y Optimización), pero se introducen numerosos matices clarificadores con objeto de hacerlos más comprensibles y evitar malinterpretaciones. Hay que señalar al respecto que, en las nuevas recomendaciones, las restricciones de dosis juegan un papel mucho más relevante que el que jugaban en ICRP-60; de hecho, de acuerdo con ICRP-103, las restricciones de dosis representan el elemento básico y fundamental del sistema de protección, constituyendo una parte esencial del principio de optimización.

Se mantienen los valores numéricos de los límites de dosis que se establecían en ICRP-60. No obstante, y en relación con el límite de dosis al cristalino, las nuevas recomendaciones indican que ICRP ha constituido un grupo de trabajo para analizar en detalle las nuevas evidencias biológicas disponibles, que podrían hacer que dicho límite se revisara a la baja,

Se mantiene la distinción (introducida en ICRP-60) entre los principios aplicables a prácticas e intervenciones, no obstante hay que señalar que en ICRP-103 se introduce una nueva terminología, que es resultado de un cambio de orientación del sistema que, mientras que en ICRP-50 estaba orientado hacia el proceso (prácticas e intervenciones), en ICRP-103 está orientado hacia la situación (situaciones planificadas, situaciones existentes y situaciones de emergencia).

Se mantiene la distinción entre tres categorías de exposición (exposición ocupacional, exposición del público y exposición de pacientes) y la necesidad de medidas de protección especial para mujeres gestantes.

Sin embargo, y a pesar de esta línea continuista con respecto a las anteriores recomendaciones, en ICRP-103 también se introducen elementos distintivos con respecto a ICRP-60. Así, por ejemplo;

Se revisan, a la baja, los factores de riesgo. Para la población en general, el factor de riesgo para la inducción de cáncer (fatal y no fatal) pasa del 6 al 5,5 % por Sv, y el factor de riesgo para la inducción de efectos hereditarios pasa del 1.3 al 0.2 % or Sv.

Se modifican los factores de ponderación tisular ( $W_T$ ) que sirven de base al cálculo de la dosis efectiva, considerándose órganos adicionales (glándulas salivares y cerebro) a los que se consideraban en ICRP-60.

Se establece que la dosis colectiva es un instrumento a utilizar, exclusivamente, en el ámbito de la optimización (a la hora de comparar distintas opciones de protección), por lo que se desaconseja (expresamente) su uso tanto en evaluaciones epidemiológicas, como para la estimación del riesgo de muerte en poblaciones expuestas a bajas dosis.

Se establece que la dosis efectiva es una magnitud que debe ser utilizada, exclusivamente, como instrumento de planificación (de cara a la optimización) o como elemento de control regulador (para verificar el cumplimiento de límites), por lo que se desaconseja (expresamente) su uso en estudios epidemiológicos o en evaluaciones específicas de riesgo de individuos o poblaciones concretas.

No obstante, son dos los aspectos en los que las recomendaciones de ICRP-103 suponen un cambio más drástico respecto a ICRP-60:

El primero se refiere al principio de optimización que, en las nuevas recomendaciones de ICRP-103, aplica de manera similar a todas las situaciones (planificadas, existentes y emergencias). Así, de forma análoga a la que en situaciones planificadas se utilizan las "restricciones de dosis", en situaciones existentes y en emergencias se utilizan los denominados "niveles de referencia".

El segundo se refiere a que, en las nuevas recomendaciones de ICRP-103, se introducen las bases para la introducción de una sistemática encaminada a demostrar que el sistema de protección radiológica establecido para la protección del hombre garantiza asimismo la protección del medio ambiente.

### **Los simuladores del riesgo radiológico**

#### **El simulador Wise Uranium Project**

Se ha utilizado un sistema computarizado para determinar riesgo radiológico asociado a la exposición a una determinada dosis de radiaciones ionizantes, según modelo proporcionado por el proyecto "Uranium Wise Project" basado en las guías del UNSCEAR y la ICRP. Para la persona la dosis puede introducirse como dosis o tasa de dosis junto con su factor de ocupación. Para poblaciones expuestas, se puede introducir la dosis colectiva.

Los datos de cálculo suministrados al sistema son:

**Dosis en Sv** (Sievert) y **rem** (Röntgen equivalent man) (\*).

**Dosis en Gy** (Gray) y **rad** (Röntgen absorbed dose) (\*).

**Dosis en R** (Röntgen) y **C/kg** (Coulomb por kilogramo (\*).

**Dosis en A/kg** multiplicada por la tasa de dosis de ionización (\*).

Las unidades **man-Sv** y **man-rem** son para la dosis efectiva comprometida colectiva.

(\*) Aplicado solo a radiación gamma en aire.

#### **Tasa**

Introducir valor deseado en Dosis por unidad de tiempo.

#### **Factor de ocupación** (usado para tasa por hora o por año)

Es el tiempo que una persona en un año, se ha expuesto a una tasa de dosis de exposición, en horas por año, o porcentaje del tiempo total o en exposición continua. Se asumen 2000 horas por año de tiempo de trabajo. El número de años, permite calcular la dosis acumulada en toda la vida laboral o vida de la persona.

#### **Factor de riesgo [1/Sv]**

Riesgo de cánceres fatales por Sievert para efectos estocásticos según la ICRP 60 (1990), 0.04 para trabajadores y 0.05 para el público.

#### **Dose factor for gamma radiation [Sv/Gy]**

Los factores de conversión de de energía gamma absorbida en aire a dosis efectiva, según recomendaciones de la UNSCEAR (2000) son 0.7 Sv/Gy para adultos, 0.8 para niños, y 0.9 jóvenes.

Las figuras expuestas en el capítulo de resultados visualizan la fase de cálculos para el exceso de probabilidad de inducción de cánceres en la población expuesta a diferentes dosis durante setenta años. Este simulador de cálculo utilizado para una de las estimaciones del riesgo radiológico, se basa tal y como se describe en el apartado correspondiente, en el sistema de protección radiológica establecido en las recomendaciones de ICRP-60 a pesar de que, como se ha explicado, estas recomendaciones básicas han dejado de estar oficialmente vigentes desde marzo de 2007, cuando se aprobaron las nuevas recomendaciones básicas de ICRP-103. Pese a lo anterior, se ha utilizado en la presente Tesis debido a que durante el desarrollo de la misma, tanto la normas españolas como las normas internacionales en materia de protección radiológica están aún basadas en las recomendaciones básicas ICRP-60, previéndose que pasen varios años hasta que unas y otras normas queden adaptadas al nuevo sistema de protección radiológica establecido en ICRP-103. Independientemente de todo esto y para establecer comparaciones, se ha utilizado el otro simulador de riesgo basado en las últimas recomendaciones de la ICRP.

### El simulador RADRISK

El modelo en el que se basa el simulador RADRISK, intenta determinar el life-time attributable risk (LAR) de la población expuesta en el incidente, la metodología que para ello sigue el modelo se expone a continuación:

#### Función de riesgo y estimadores del riesgo radiológico.

La función del riesgo  $\lambda_b(t_k)$  se define como la probabilidad natural de morir de cáncer de tipo  $b$  a la edad  $t_k$  en ausencia de exposición, eso es la tasa de mortalidad por cáncer del tipo  $b$ , por otro lado la función del riesgo  $\Lambda_b(t_k)$  se define como la probabilidad de muerte a la edad  $t_k$  debido a una exposición a la edad de  $t_e$ . El vector  $\bar{z}$  es un juego de covariantes que toman en consideración los efectos de la radiación ionizante en el individuo, tales como el sexo, la edad de exposición  $t_e$ , la dosis equivalente o efectiva, o el período latente libre de riesgo  $L$ .

El riesgo de muerte inducida por la exposición (REID) que se define como la probabilidad de que un individuo muera por un cáncer inducido por la radiación a lo largo de toda su vida, se estima mediante:

$$REID(t_e | \bar{z}) = \sum_{j=t_e+L}^M s_j(j | \bar{z}) EAR_b(j | \bar{z})$$

donde  $t_e$  es la edad en la que se ha producido la exposición. EAR, es el exceso absoluto de riesgo del caso control en la población.,  $\bar{z}$  es el vector de covarianza,  $L$  es el período de latencia y  $s_j(j | \bar{z})$  es la función de supervivencia, que se ve afectada por el aumento de la mortalidad radioinducida. El parámetro  $s_1$  depende de la mortalidad inducida por la radiación ionizante en el modelo de transporte utilizado para la estimación del riesgo.

El LAR es una aproximación del REID, la diferencia estriba en que la función de supervivencia no tiene en consideración la muerte de las personas debidas a los cánceres radioinducidos de este forma se simplifican los cálculos. Estos estimadores son significativamente diferentes a bajas dosis debido a la diferencia en el orden de magnitud de el EAR y  $\lambda_b(t_k)$ . El LAR es estimado a la edad  $j$  en la que el cáncer es observado clínicamente a la edad  $t_M$  an la cual se produce la muerte y se calcula de la siguiente manera:

$$LAR(t_e | \bar{z}) = \sum_{j=t_e+L}^M \hat{s}_j(j) EAR_b(j | \bar{z})$$

Donde el estimador de la función de supervivencia para el LAR, se calcula como:

$$\hat{s}_j(j) = \prod_{i=t_e}^j [1 - \lambda_{all}(i)]$$

Siendo  $\lambda_{all}$  la función de mortalidad base o tasa de mortalidad natural para toda la población sometida a estudio.

**Estudios epidemiológicos de los cánceres radioinducidos.**

La epidemiología de los cánceres radioinducidos, se basa en estudios de poblaciones expuestas a las radiaciones ionizantes y dan información sobre modelos para aplicar a otras poblaciones expuestas a diferentes niveles. Estos estudios consideran tres tipos de cánceres, todos lo sólidos, cánceres específicos sólidos y cánceres no sólidos.

El UNSCEAR 2000 contiene un gran grupo de cohortes y estudios de caso-control de estimación del riesgo para cánceres sólidos específicos y no sólidos sufridos después de irradiaciones. El mayor aporte de datos, se puede extraer de “Radiation Effects Research Foundation Life Span Study” que esta relacionado con los estudios sobre Hiroshima y Nagasaki. La siguiente tabla presenta el promedio del exceso de riesgo absoluto (EAR) para incidencia del cáncer extraído de la cohorte del Life Span Study que incluye el cáncer de piel (no melanoma) y cánceres sólidos (Preston y colaboradores 2007), estos valores han sido utilizados para estimar el riesgo en la población expuesta asumiendo la no dependencia con la edad o la edad en la exposición pero si con el sexo.

Tabla 3.7.24.2 Exceso promedio absoluto del riesgo EAR para incidencia de cáncer ( $10^4\text{PYSv}^{-1}$ ), extraídos de la cohorte del “Life Spam Study”

	Tipo de cancer	EAR ( $10^4\text{PYSv}^{-1}$ )		
		hombre	mujer	todos
Cáncer sólido (a)	Cáncer de piel	0.38	0.32	0.35
Cáncer no sólido (b)	Enfermedad de Hodking	0.04	0.04	0.04
	Linfoma no Hodkin	0.73	-0.20 (c)	0.17
	Mieloma múltiple	0.26	-0.08	0.05

- a) exceso de casos por  $10^4$  por PY G (Preston et al, 2007)
- b) UNSCEAR Report 2000
- c) Estadísticamente no significativo entre esperados y observados

Otros estudios tales como el Comité BEIR VII (National Research Council) han desarrollado modelos de transporte para la leucemia basados en el Life Span Study de la población considerando un aumento en el período 1950-2000 (Preston DL et al, 2007), estos modelos permiten al EAR variar como una función lineal-cuadrática de la dosis, como sigue:

$$EAR(t_k | \bar{z}) = \beta_s \Phi(d) \exp \left[ \alpha \left( \gamma + \delta \log \left( \frac{t_k}{25} \right) \right) \right]$$

Donde  $\Phi(d) = d(1 + \theta d)$  es la función de respuesta de la dosis con una dosis  $d$  en médula ósea ( $Sv$ ) y  $\beta_s$  es una función que depende del sexo, siendo  $\alpha = (t_k - 30)/10$  si  $t_k < 30$ , si no  $\alpha = 0$ .

La tabla siguiente expone los parámetros significativos propuestos por el BEIR VII para estimar el EAR como función del sexo, edad, edad en el momento de la exposición y dosis efectiva.

Tabla 3.7.24.3 Parámetros para la estimación del EAR para leucemia propuestos por el Comité BEIR VII

Parámetro	Modelo EAR
$\beta_s$	Hombre: 1.62 por $10^4$ PYSv Mujer: 0.93 por $10^4$ PYSv
$\gamma$	0.29 por década
$\delta$	0.56
$\theta$	$0.88 \text{ Sv}^{-1}$

El simulador RADRISK, es un programa desarrollado para el cálculo del detrimento radiológico de una población expuesta a las radiaciones ionizantes, sus fuentes de datos son las dosis estimadas o recibidas, la incidencia/mortalidad por cáncer histórica y la distribución de la mortalidad en la población en estudio. Otros modelos epidemiológicos implementan el programa para el cálculo del LAR. La base de cálculo del simulador es el programa Matlab 7.0 ®.

El Área de epidemiología de la Dirección General de Salud Pública de la Generalitat Valenciana, incluida en la European Network of Cancer Registries (ENCR) (Ferrer F et al, 2005), suministra datos sobre incidencia de cánceres de 29 hospitales de la comunidad (2005), la siguiente tabla presenta la línea base de la tasa de cánceres de piel y no sólidos por 100000 PY en edades comprendidas en el rango de 40-59 años.

Tabla 3.7.24.4 Línea base en la tasa de incidencias  $\lambda_{in}$  de cánceres de piel (melanoma), leucemias y otros cánceres no sólidos por 100000 PY en la Comunidad Valenciana (2005)

Tipo de cáncer	Edad				total
	40-44	45-49	50-54	55-59	
Melanoma	7,2	6,2	15,9	8,3	37,6
Leucemia	7,2	8,1	11,6	18,1	45
Enfermedad de Hodkin	3,9	4,4	3,7	3	15
Linfoma no Hodkin	19,8	28,1	29,8	37,4	115,1
Mieloma múltiple	2,2	4,4	7,3	6,6	20,5



La línea base para la función mortalidad en hombres y mujeres se ha obtenido del Instituto Nacional de Estadística (INE), asumiendo la EAR del estudio de cohortes del Life Spam Study (ver figura). El período de latencia se ha asumido como para la leucemia L=2 y otros cánceres no sólidos y L=5 para cánceres sólidos (BEIR VII).

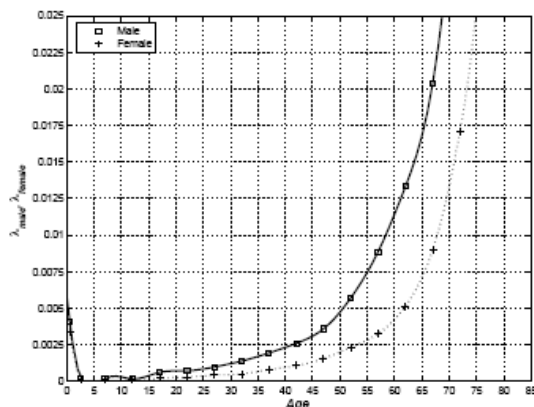


Figura 3.7.24.1 Estudio de cohortes (Life Spam Study)

**Resultados comparados del detrimento radiológico estimado por el WISE URANIUM PROJECT y el RADRISK**

En la siguiente tabla aparecen los cálculos de los detrimentos radiológicos realizados por los dos modelos utilizados en el presente trabajo, el Wise Uranium Project y el Radrisk, en este último se obtiene a su vez dos posibles resultados, los valores del ERR y del EAR. que son respectivamente el exceso relativo de riesgo (modelo multiplicativo) y el exceso absoluto de riesgo (modelo aditivo), en ambos casos la hipótesis de cálculo se ha basado en un hombre de treinta años en la Comunidad Valenciana, calculando la probabilidad de inducción de cáncer sólido (excepto leucemia, mielomas y linfomas) y asumiendo la dosis efectiva como dosis absorbida a cuerpo entero.

La modelización del riesgo dentro de una determinada población expuesta, se puede hacer indistintamente mediante la utilización del ERR. o EAR. Siempre y cuando los modelos permitan variaciones en el exceso de riesgo con factores como el género, la edad alcanzada y la edad en el momento de la exposición) (ICRP 103, 2007).

En los modelos de proyección para la carcinogénesis, se espera que los efectos estocásticos se expresen como un incremento de la tasa de probabilidad del efecto en la población expuesta. Dado que ese incremento no se expresará antes de un período de latencia mínimo que, por ejemplo, puede ser desde unos pocos años en el caso de leucemia hasta decenas de años para otras condiciones malignas, se necesita usar modelos de proyección para describir el subsecuente exceso de la tasa de probabilidad en función del tiempo. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el RADRISK ha usado dos modelos de proyección: uno absoluto, llamado modelo aditivo EAR) y otro relativo, denominado modelo multiplicativo ERR. En el modelo aditivo se presume que el exceso en las muertes por

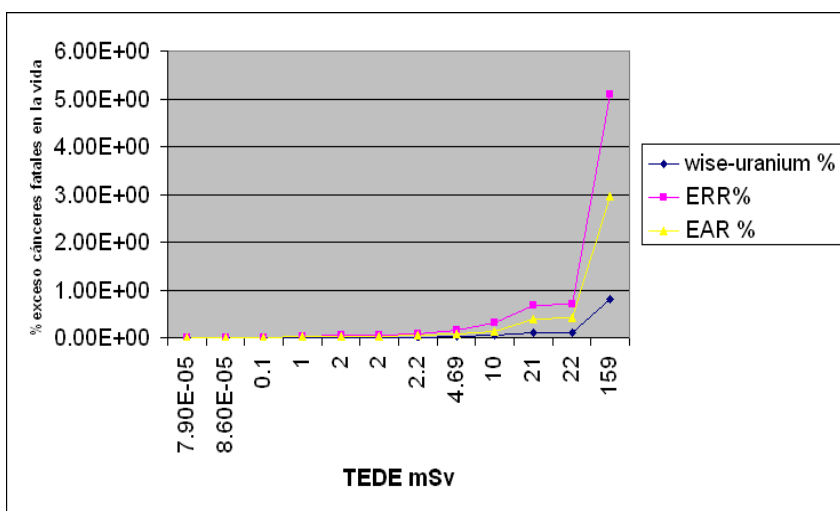
cáncer, es decir el exceso de la tasa de la probabilidad condicional de muerte por cáncer, depende de la dosis y es independiente de la edad de la persona expuesta. En el modelo multiplicativo se espera que el exceso de la tasa de probabilidad se vaya incrementando con la edad a la misma tasa en que lo hace la tasa natural de ocurrencia de ese efecto. Se considera que el modelo multiplicativo se ajusta mejor a las observaciones epidemiológicas que el modelo aditivo y es el que se usa para la estimación del riesgo de la radiación, por este motivo y por obtener unos resultados mas conservadores desde el punto de vista del trabajo, este valor el ERR. será el utilizado para determinar la estimación de víctimas en esta Tesis.

Por otro lado se observa de las tablas y gráficos siguientes, que los dos simuladores (WISE-URANIUM y RADRISK) y los tres estimadores del exceso de cánceres fatales radioinducidos a lo largo de la vida de las personas expuestas, cuando se trata de bajas dosis, tal y como ocurre en la mayor parte del suceso que se analiza en la presente tesis, sus resultados concuerdan bastante, esta similitud va desapareciendo a medida que aumentan las dosis de exposición.

Escenario	TEDE (mSv)	Prob. Inducc. Cánceres (%) WISE-Uranium		Modelo ERR (%)	Modelo EAR (%)
1	2	0.01	0.01	0.064	0.037
2	21	0.105	0.105	0.672	0.392
2	0.1		0.001	0.00320253	0.00130821
2	1		0.005	0.03202526	0.01308213
2	10		0.05	0.32025255	0.1308213
3	7.90E-05	< 1e-5	3.95E-07	< 1e-5	< 1e-5
4	2	0.01	0.01	0.064	0.037
5	2.2	0.01	0.011	0.07	0.041
6	8.60E-05	< 1e-5	4.30E-07	< 1e-5	< 1e-5
7	22	0.11	0.11	0.704	0.411
8	159	0.795	0.795	5.09	2.97
9	4.69	0.023	0.02345	0.15	0.087

TEDE (mSv)	Prob. Inducc. Cánceres (%) WISE-Uranium		Modelo ERR (%)	Modelo EAR (%)	Escenario
7.90E-05	< 1e-5	3.95E-07	< 1e-5	< 1e-5	3
8.60E-05	< 1e-5	4.30E-07	< 1e-5	< 1e-5	6
0.1		0.001	0.00320253	0.00130821	2
1		0.005	0.03202526	0.01308213	2
2	0.01	0.01	0.064	0.037	1
2	0.01	0.01	0.064	0.037	4
2.2	0.01	0.011	0.07	0.041	5
4.69	0.023	0.02345	0.15	0.087	9
10		0.05	0.32025255	0.1308213	2
21	0.105	0.105	0.672	0.392	2
22	0.11	0.11	0.704	0.411	7
159	0.795	0.795	5.09	2.97	8

Las tablas anteriores, tabla 3.7.24.5 y la tabla 3.7.24.6, muestran los datos resumidos de las simulaciones del detrimento radiológico, la del WISE URANIUM, y las dos del RADRISK (modelo aditivo EAR y modelo multiplicativo ERR), agrupadas en primer lugar por escenarios y en segundo lugar por TEDE, a continuación se expone los mismos datos pero de forma gráfica.

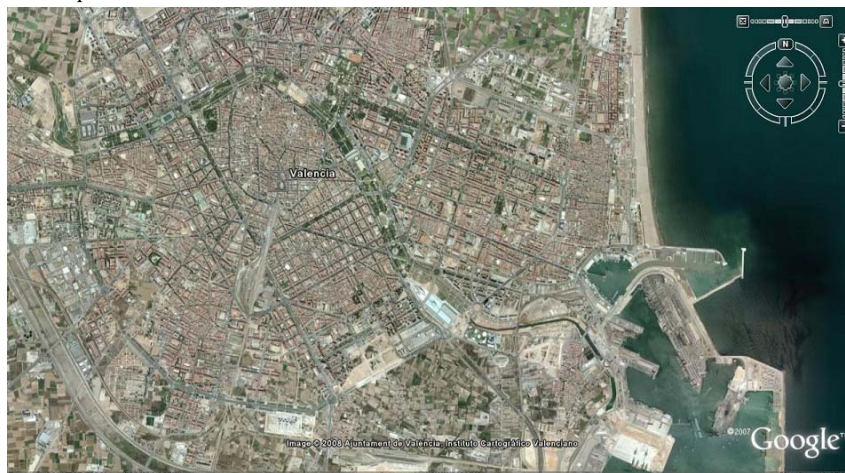




## CAPITULO IV: RESULTADOS

### Introducción

En el presente capítulo se exponen los resultados de la tesis, en primer lugar se observan imágenes aéreas de Valencia, en una secuencia de aproximación al escenario del ataque.



En la imagen siguiente, se observa en detalle la Plaza del Ayuntamiento y sus zonas de aparcamiento, donde se simula el estacionamiento del vehículo que transporta la bomba.



Las siguientes imágenes se corresponden con la puesta en marcha del sistema de simulación Hotspot, detallado en el capítulo correspondiente a Material y Métodos.

La simulación va a consistir en el estudio del escenario considerado como el más probable, seguido de ocho posibles escenarios más en los que se introducen variantes para ver si son significativas desde el punto de vista del tratamiento de la emergencia y sus consecuencias a la población. En todos ellos se realizarán los cálculos para obtener las gráficas de dispersión en función de la distancia para la dosis equivalente efectiva total (TEDE) y la contaminación ( $\text{KBq/m}^2$ ) (Eckerman, K.F. et al, 1988), los mismos valores obtenidos en forma de gráficas continuas, las superposiciones de los gráficos de dispersión sobre la ciudad de Valencia y las estimaciones del riesgo de inducción de cánceres asociadas a esas exposiciones, es decir un total de sesenta y tres variantes del estudio planteado, posteriormente se correlacionarán todos estos datos para establecer conclusiones en el correspondiente apartado.

#### **Escenarios planteados**

Concretamente los **escenarios planteados** son los siguientes:

##### **Escenario I**

Modelo: Explosión general

Término fuente:  $\text{Co60Y}$  (5,27 años) 500 Ci

Cantidad de explosivo: 100 Kg. equivalentes TNT

Estabilidad meteorológica: F (moderadamente estable)

Velocidad del viento: 1 m/s ( $270^\circ$ )

Lluvia: no

“Ground Shine”: no

**Escenario II**

Modelo: Explosión general

Término fuente: Co60Y (5,27 años) 500 Ci

Cantidad de explosivo: 100 Kg. equivalentes TNT

Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)

Velocidad del viento: 1 m/s (270°)

Lluvia: no

“Ground Shine”: si, 4 días

**Escenario III**

Modelo: Resuspensión

Término fuente: Co60Y (5,27años), 2,00E+04 KBq/m<sup>2</sup>, radio efectivo 1000 mts.

Cantidad de explosivo: --

Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)

Velocidad del viento: 1 m/s (270°)

Lluvia: no

“Ground Shine”: no

**Escenario IV**

Modelo: Explosión general

Término fuente: Co60Y (5,27 años) 500 Ci

Cantidad de explosivo: 100 Kg. equivalentes TNT

Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)

Velocidad del viento: 1 m/s (270°)

Lluvia: si

“Ground Shine”: no

**Escenario V**

Modelo: Explosión general

Término fuente: Co60Y (5,27 años) 500 Ci

Cantidad de explosivo: 100 Kg. equivalentes TNT

Estabilidad metereológica: A (muy inestable sigma-teta => 25°)

Velocidad del viento: 1 m/s (270°)

Lluvia: no

“Ground Shine”: no

**Escenario VI**

Modelo: Explosión general

Término fuente: Co60Y (5,27 años) 500 Ci

Cantidad de explosivo: 100 Kg. equivalentes TNT

Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)

Velocidad del viento: 24 m/s (270°)

Lluvia: no

“Ground Shine”: no

**Escenario VII**

Modelo: Explosión general  
Término fuente: Co60Y (5,27 años) 15000 Ci  
Cantidad de explosivo: 500 Kg. equivalentes TNT  
Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)  
Velocidad del viento: 1 m/s (270°)  
Lluvia: no  
“Ground Shine”: no

**Escenario VIII**

Modelo: Explosión general  
Término fuente: Co60Y (5,27 años) 1.85E+13Bq  
Cantidad de explosivo: 2,00E+02 libras. equivalentes TNT  
Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)  
Velocidad del viento: 1 m/s (270°)  
Lluvia: Si  
“Ground Shine”: Si

**Escenario IX**

Modelo: Explosión general  
Término fuente: Cs137 (30 años) 500 Ci  
Cantidad de explosivo: 100 Kg. equivalentes TNT  
Estabilidad metereológica: F (moderadamente estable)  
Velocidad del viento: 1 m/s (270°)  
Lluvia: no  
“Ground Shine”: si, 4 días



## **Simulación de escenarios**

### **4.1.1. Escenario I**

#### **4.1.1.1. Elección del modelo, explosión**

El primer paso es la elección del modelo de incidente, que en este caso es una explosión en la que se incluye material radiactivo, denominada “Explosión General”.

#### **4.1.1.2. Entrada de parámetros de término fuente**

**Entrada de parámetros** del denominado como **término fuente** ( en unidades del S.I. ), que en este caso es la elección del Radionucleido (Cobalto 60 con semiperíodo de 5,27 años), con una actividad de 500 Ci, junto con un explosivo de alto poder equivalente aproximadamente a 100 Kg. de TNT, como velocidad de deposición de las partículas en suspensión se toma 0,30 cm/s, como fracción aerotransportada que es la fracción de la cantidad total de material radiactivo involucrado en el incidente emitida a la atmósfera, se toma 1 (es decir la totalidad), como fracción respirable (fracción de material radiactivo que resulta respirable y se ha dispersado en la atmósfera) que se toma como un 20%.

#### **Término fuente**

**Modelo:** Explosión General

**Radionucleido:** Co-60 y 5.271 años

**Actividad:** 5.000E+02 Ci (1,8500E+13Bq)

**Velocidad de Deposición:** 0.30 cm/seg

**Fracción Aerotransportada:** 1.00E+00

**Fracción Respirable:** 2.00E-01

**Explosión Equivalente TNT:** 2.00E+02 libras

### 4.1.1.3. Valores de los factores de conversión a dosis por inhalación

Una vez seleccionado el isótopo, el sistema nos muestra (en unidades clásicas y también en el S.I.), los **valores de los factores de conversión a dosis por inhalación** extraídos de las guías FGR 11/12 ICRP30, para los distintos órganos diana, asumiendo un AMAD (diámetro aerodinámico de las partículas en suspensión radiactivas) de 1  $\mu\text{m}$ . Los cálculos nos muestran la dosis equivalente efectiva comprometida a 50 años (en rem/Sv) que es la suma ponderada de las CDE (dosis equivalente comprometida a 50 años) de cada órgano particular ponderada. El valor de 50 años CEDE sería el recibido por un individuo que ha permanecido en un lugar determinado de la trayectoria de la contaminación durante toda la emisión contaminante.

**Hotspot Library**

Radionuclide **Cobalt**

Co-60 Y 5.271y

View Inhalation DCFs Return

View Submersion DCFs Print

View Ground Shine DCFs

FGR 11/12 DCF values. ICRP series 30.

**Inhalation Dose Conversion Factors (sievert / becquerel)**

R. Marrow	1.72E-08	ULI Wall	9.70E-09	Adrenals	3.00E-08
Lung	3.45E-07	LLI Wall	7.93E-09	Skin	1.02E-08
SI Wall	7.05E-09	Kidneys	1.56E-08	Spleen	2.70E-08
Brain	not listed	Liver	3.35E-08	Testes	1.70E-09
Breast	1.84E-08	Bld Wall	2.95E-09	Thymus	5.75E-08
Esophagus	5.75E-08	Muscle	1.84E-08	Thyroid	1.62E-08
St Wall	2.73E-08	Ovaries	4.76E-09	Uterus	4.62E-09
B Surface	1.35E-08	Pancreas	3.17E-08		

SI   
  Classic   
 One micron AMAD   
 50-yr CEDE   
5.91E-08

#### 4.1.1.4. Valores de los factores de conversión a dosis por sumersión

La imagen siguiente nos muestra, los valores de los **factores de conversión a dosis por sumersión** extraídos de las guías FGR 11/12 ICRP30, para los distintos órganos diana. Los cálculos nos muestran la dosis equivalente efectiva (EDE en este caso en Sv) para la totalidad del cuerpo que es la suma ponderada de las EDEs (dosis equivalente efectiva por órgano).

Hotspot Library

Radionuclide  
**Cobalt**

Co-60 Y 5.271y

View Inhalation DCFs Return

View Submersion DCFs Print

View Ground Shine DCFs

FGR 11/12 DCF values. ICRP series 30.

Air Submersion Dose Conversion Factors ([sievert-m3] / [becquerel-sec])

R Marrow	1,23E-13	ULI Wall	1,05E-13	Adrenals	1,04E-13
Lung	1,24E-13	LLI Wall	1,05E-13	Skin	1,45E-13
SI Wall	1,03E-13	Kidneys	1,12E-13	Spleen	1,13E-13
Brain	1,34E-13	Liver	1,13E-13	Testes	1,23E-13
Breast	1,39E-13	Bld Wall	1,04E-13	Thymus	1,17E-13
Esophagus	1,07E-13	Muscle	1,21E-13	Thyroid	1,27E-13
St Wall	1,11E-13	Ovaries	1,07E-13	Uterus	1,00E-13
B Surface	1,78E-13	Pancreas	1,01E-13		

SI  Classic

EDE 1.26E-13

#### 4.1.1.5. Factores de conversión a dosis por exposición procedente del suelo contaminado

La imagen siguiente nos muestra, los valores de los **factores de conversión a dosis por exposición procedente del suelo contaminado** (Ground Shine) extraídos de las guías FGR 11/12 ICRP30, para los distintos órganos diana. Los cálculos nos muestran la dosis equivalente efectiva (EDE en este caso en Sv) para la totalidad del cuerpo que es la suma ponderada de las EDEs (dosis equivalente efectiva por órgano) en este caso por unidad de tiempo.

**Hotspot Library**

Radionuclide **Cobalt**

Co-60 Y 5.271y

View Inhalation DCFs Return

View Submersion DCFs Print

View Ground Shine DCFs

FGR 11/12 DCF values. ICRP series 30.

Ground Shine Dose Conversion Factors ([sievert-m2] / [becquerel-sec])

R Marrow	2,33E-15	ULI Wall	2,18E-15	Adrenals	2,04E-15
Lung	2,27E-15	LLI Wall	2,25E-15	Skin	2,76E-15
SI Wall	2,17E-15	Kidneys	2,22E-15	Spleen	2,19E-15
Brain	2,16E-15	Liver	2,19E-15	Testes	2,45E-15
Breast	2,34E-15	Bld Wall	2,22E-15	Thymus	2,10E-15
Esophagus	1,98E-15	Muscle	2,45E-15	Thyroid	2,25E-15
St Wall	2,18E-15	Ovaries	2,04E-15	Uterus	2,13E-15
B Surface	3,11E-15	Pancreas	2,05E-15		

SI  Classic

EDE Rate 2,35E-15

#### 4.1.1.6. Datos meteorológicos

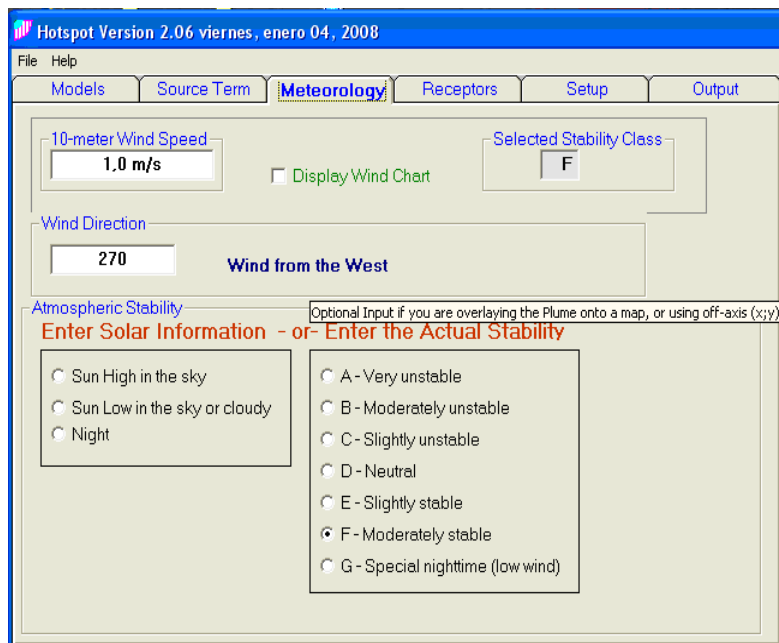
Los siguientes valores suministran al programa los **datos meteorológicos** estimados, la velocidad del viento a 10 ms. de altura sobre el nivel del suelo (1 m/s), la clase de estabilidad atmosférica en este caso la F (moderadamente estable), la dirección del viento 270° (viento del oeste) y por último datos sobre la insolación.

#### Datos meteorológicos

**Velocidad del viento a 10m:** 1.0m/s

**Tipo de Estabilidad:** F (Moderadamente Estable)

**Dirección del viento:** 270°



El sistema posee unas tablas adicionales que detallan la descripción del viento según la escala de Beaufort para esa clase de estabilidad.

#### 4.1.1.7. Posiciones en la dirección del viento en las que se estiman las lecturas de exposiciones

El sistema permite seleccionar los puntos sobre el eje de propagación de la nube, sobre los que se efectuaran las estimaciones de exposiciones/concentraciones, por defecto toma la altura del receptor sobre el que se estiman las dosis (1,5 ms sobre el nivel del suelo) y veinte **posiciones en la dirección del viento en las que se estiman las lecturas de exposiciones**, desde 30 metros hasta 80 Kms.

#### 4.1.1.8. Parámetros de cálculo

Los siguientes datos fijan los **parámetros de cálculo** relativos al tipo de terreno sobre el que se hace la simulación, se dan dos opciones terreno urbano en el que se tiene en cuenta las especificidades de los materiales constructivos urbanos y las geometrías y la opción denominada "Standard" que es la opción conservadora (sobrestimación), se escogen las unidades radiológicas y de distancia en este caso en el S.I., la altura a la que se mide la velocidad del viento, el tiempo de muestreo que toma como fijo en explosiones de 10 min. (aunque se puede variar según expresión suministrada en el apartado de material y métodos), la geometría de la emisión permite escoger entre una geometría simple (emisión puntual que es la escogida) o complejas, consistentes en fuentes superficiales o lineales en altura o a nivel del suelo, se escogen las eficacias

biológicas relativas (RBE) de radiaciones de alta transferencia lineal de energía ( LET) de 10 para pulmones y 2 para la médula ósea (datos de la FGR11), tiempo de retardo en la emisión (holdup time) que por defecto se toma como 0 (emisión inmediata), se suministra la tasa de respiración del hombre modelo ICRP30, la velocidad de deposición de las partículas no respirables ( mas de 10  $\mu\text{m}$  AMAD), no se considera en esta parte de la simulación la existencia de lluvia y en colores distintos se exponen los valores de las curvas de isoexposición (TEDE) e isocontaminación (Deposition), sistema cartográfico de coordenadas usado y posición de la emisión si se conoce mediante técnica GPS.

**Datos de Cálculo:**

*Terreno:* Estándar

Geometría de la fuente: Simple

*Altura del viento:* 10 m

*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)

*Tiempo de muestreo:* 10min

*Incluido 4 días de irradiación del suelo:* :NO

*Lluvia:* NO

*Tasa de respiración:* 3.33E-04 m<sup>3</sup>/seg

*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg

*Altitud de la fuente:* 0m

**4.1.1.9. Selección del tipo de salida de resultados**

La salida de los resultados (**selección del tipo de salida de resultados**), nos da la posibilidad de sacar datos en formas gráficas o de tablas numéricas, las salidas gráficas pueden ser a su vez en forma de la pluma de dispersión (tanto para la exposición como para la contaminación), añadiendo si se elige esta opción los datos base de cálculo, o en forma de gráfica continua con las mismas posibilidades anteriores. Con los ficheros y gráficos ofrece la posibilidad de exportación e impresión y tiene una última capacidad gráfica que es la de superponer gráficos a mapas cartográficos registrados.

**4.1.1.10. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos**

La siguiente tabla de valores, es el **resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos** realizados por este, por ejemplo nos la altura máxima a la que se difundirá la nube con la emisión contaminante (Debris cloud top), nos da los daños físicos sufridos por órganos concretos y por el cuerpo en general de la persona afectada por la explosión, valores máximos de exposición por los diferentes conceptos y a que distancia se producen, etc.

Cap.IV:Resultados

```

Source Material      : Co-60 Y 5.271y
Source Term         : 1,8500E+13 Bq
Airborne Fraction   : 1,000
Respirable Fraction : 0,200
Respirable Release Fraction: 0,200
Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
High Explosive      : 200,00 Pounds of TNT
Debris Cloud Top    : 286 m

UNMITIGATED BLAST DAMAGE
IABTI safe distance : 521 m (1710 ft)
Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 25 m - 40 m (84 ft - 133 ft)
Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 18 m - 27 m (58 ft - 88 ft)
Onset of lethality (25 psi) : 11 m - 18 m (37 ft - 58 ft)
Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range
      corresponds to reflected overpressure generated using
      Sandia National Laboratories BLAST model.

Stability Class     : F
Respirable Dep. Vel. : 0,30 cm/s
Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s
Receptor Height     : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time         : 10,000 min
Breathing Rate      : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes       : Inhalation dose + submersion
Maximum Dose Distance : 0,010 km
Maximum TEDE        : 2,03E-03 Sv
Inner Contour Dose  : 1,00E-03 Sv
Middle Contour Dose : 1,00E-04 Sv
Outer Contour Dose  : 1,00E-05 Sv
Exceeds Inner Dose Out To : 0,15 km
Exceeds Middle Dose Out To : 5,23 km
Exceeds Outer Dose Out To : 31,02 km
    
```

En las siguientes tablas de cálculos, el sistema da los valores de la TEDE por sumersión e inhalación, a una distancia determinada y con detalle del tiempo transcurrido desde la explosión, se detallan los órganos diana y los factores de conversión a dosis.

**FICHERO DE SALIDA**

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
3,000	1,8E-04	8,9E+06	1,5E+03	1,3E-05	02:01
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 3,000 km					
skin.....	[3,4E-05]	Lung.....	[1,0E-03]	Thyroid.....	[5,1E-05]
Surface Bone.	[4,5E-05]	Red Marrow...	[5,4E-05]	Liver.....	[1,0E-04]
Spleen.....	[8,3E-05]	Ovaries.....	[1,7E-05]	Adrenals.....	[9,2E-05]
Breast.....	[5,8E-05]	Stomach wall.	[8,4E-05]	SI wall.....	[2,4E-05]
ULI wall.....	[3,2E-05]	LLI wall.....	[2,6E-05]	Bladder wall.	[1,2E-05]
Thymus.....	[1,7E-04]	Esophagus....	[1,7E-04]	Muscle.....	[5,8E-05]
Kidneys.....	[4,9E-05]	Testes.....	[8,4E-06]	uterus.....	[1,6E-05]
Pancreas.....	[9,7E-05]	Brain.....	[3,7E-06]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,75E-04				
Submersion :	3,51E-06				
1,000	4,1E-04	2,0E+07	4,9E+03	4,1E-05	00:40
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 1,000 km					
skin.....	[8,1E-05]	Lung.....	[2,4E-03]	Thyroid.....	[1,2E-04]
Surface Bone.	[1,1E-04]	Red Marrow...	[1,3E-04]	Liver.....	[2,4E-04]
Spleen.....	[1,9E-04]	Ovaries.....	[4,1E-05]	Adrenals.....	[2,1E-04]
Breast.....	[1,4E-04]	Stomach wall.	[1,9E-04]	SI wall.....	[5,6E-05]
ULI wall.....	[7,4E-05]	LLI wall.....	[6,2E-05]	Bladder wall.	[2,8E-05]
Thymus.....	[4,0E-04]	Esophagus....	[4,0E-04]	Muscle.....	[1,3E-04]
Kidneys.....	[1,1E-04]	Testes.....	[2,1E-05]	uterus.....	[3,9E-05]
Pancreas.....	[2,2E-04]	Brain.....	[1,1E-05]		

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	4,01E-04				
Submersion :	1,01E-05				
2,000	2,5E-04	1,2E+07	2,4E+03	2,0E-05	01:20
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 2,000 km					
skin.....	[4,8E-05]	Lung.....	[1,4E-03]	Thyroid.....	[7,1E-05]
Surface Bone.	[6,2E-05]	Red Marrow...	[7,5E-05]	Liver.....	[1,4E-04]
Spleen.....	[1,1E-04]	Ovaries.....	[2,4E-05]	Adrenals.....	[1,3E-04]
Breast.....	[8,1E-05]	Stomach wall.	[1,2E-04]	SI wall.....	[3,3E-05]
ULI wall.....	[4,4E-05]	LLI wall.....	[3,7E-05]	Bladder wall.	[1,6E-05]
Thymus.....	[2,4E-04]	Esophagus....	[2,4E-04]	Muscle.....	[8,0E-05]
Kidneys.....	[6,8E-05]	Testes.....	[1,2E-05]	Uterus.....	[2,3E-05]
Pancreas.....	[1,3E-04]	Brain.....	[5,6E-06]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	2,41E-04				
Submersion :	5,24E-06				
3,000	1,8E-04	8,9E+06	1,5E+03	1,3E-05	02:01
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 3,000 km					
skin.....	[3,4E-05]	Lung.....	[1,0E-03]	Thyroid.....	[5,1E-05]
Surface Bone.	[4,5E-05]	Red Marrow...	[5,4E-05]	Liver.....	[1,0E-04]
Spleen.....	[8,3E-05]	Ovaries.....	[1,7E-05]	Adrenals.....	[9,2E-05]
Breast.....	[5,8E-05]	Stomach wall.	[8,4E-05]	SI wall.....	[2,4E-05]
ULI wall.....	[3,2E-05]	LLI wall.....	[2,6E-05]	Bladder wall.	[1,2E-05]
Thymus.....	[1,7E-04]	Esophagus....	[1,7E-04]	Muscle.....	[5,8E-05]
Kidneys.....	[4,9E-05]	Testes.....	[8,4E-06]	Uterus.....	[1,6E-05]
Pancreas.....	[9,7E-05]	Brain.....	[3,7E-06]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,75E-04				
Submersion :	3,51E-06				
4,000	1,3E-04	6,6E+06	5,0E+02	4,2E-06	02:41
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 4,000 km					
skin.....	[2,4E-05]	Lung.....	[7,6E-04]	Thyroid.....	[3,7E-05]
Surface Bone.	[3,2E-05]	Red Marrow...	[4,0E-05]	Liver.....	[7,5E-05]
Spleen.....	[6,1E-05]	Ovaries.....	[1,2E-05]	Adrenals.....	[6,8E-05]
Breast.....	[4,2E-05]	Stomach wall.	[6,2E-05]	SI wall.....	[1,7E-05]
ULI wall.....	[2,3E-05]	LLI wall.....	[1,9E-05]	Bladder wall.	[7,8E-06]
Thymus.....	[1,3E-04]	Esophagus....	[1,3E-04]	Muscle.....	[4,2E-05]
Kidneys.....	[3,6E-05]	Testes.....	[3,3E-06]	Uterus.....	[1,1E-05]
Pancreas.....	[7,1E-05]	Brain.....	[1,7E-06]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,31E-04				
Submersion :	1,58E-06				
5,000	1,1E-04	5,3E+06	3,2E+02	2,7E-06	03:21
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 5,000 km					
skin.....	[1,9E-05]	Lung.....	[6,1E-04]	Thyroid.....	[3,0E-05]
Surface Bone.	[2,5E-05]	Red Marrow...	[3,1E-05]	Liver.....	[6,0E-05]
Spleen.....	[4,9E-05]	Ovaries.....	[9,4E-06]	Adrenals.....	[5,4E-05]
Breast.....	[3,4E-05]	Stomach wall.	[4,9E-05]	SI wall.....	[1,3E-05]
ULI wall.....	[1,8E-05]	LLI wall.....	[1,5E-05]	Bladder wall.	[6,2E-06]
Thymus.....	[1,0E-04]	Esophagus....	[1,0E-04]	Muscle.....	[3,4E-05]
Kidneys.....	[2,9E-05]	Testes.....	[4,1E-06]	Uterus.....	[9,1E-06]
Pancreas.....	[5,7E-05]	Brain.....	[1,2E-06]		



Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	7,47E-05				
Submersion :	7,98E-07				
8,000	6,6E-05	3,3E+06	1,8E+02	1,6E-06	05:23
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 8,000 km					
Skin.....	[1,2E-05]	Lung.....	[3,8E-04]	Thyroid.....	[1,9E-05]
Surface Bone	[1,6E-05]	Red Marrow...	[2,0E-05]	Liver.....	[3,8E-05]
Spleen.....	[3,1E-05]	Ovaries.....	[5,9E-06]	Adrenals.....	[3,4E-05]
Breast.....	[2,1E-05]	Stomach wall.	[3,1E-05]	SI wall.....	[8,4E-06]
ULI wall.....	[1,1E-05]	LLI wall.....	[9,4E-06]	Bladder wall.	[3,8E-06]
Thymus.....	[6,4E-05]	Esophagus....	[6,4E-05]	Muscle.....	[2,1E-05]
Kidneys.....	[1,8E-05]	Testes.....	[2,6E-06]	Uterus.....	[5,7E-06]
Pancreas.....	[3,6E-05]	Brain.....	[7,4E-07]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	6,56E-05				
Submersion :	6,96E-07				
9,000	5,9E-05	3,0E+06	1,6E+02	1,4E-06	06:03
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 9,000 km					
Skin.....	[1,1E-05]	Lung.....	[3,4E-04]	Thyroid.....	[1,7E-05]
Surface Bone	[1,4E-05]	Red Marrow...	[1,8E-05]	Liver.....	[3,4E-05]
Spleen.....	[2,7E-05]	Ovaries.....	[5,2E-06]	Adrenals.....	[3,0E-05]
Breast.....	[1,9E-05]	Stomach wall.	[2,8E-05]	SI wall.....	[7,5E-06]
ULI wall.....	[1,0E-05]	LLI wall.....	[8,4E-06]	Bladder wall.	[3,4E-06]
Thymus.....	[5,8E-05]	Esophagus....	[5,8E-05]	Muscle.....	[1,9E-05]
Kidneys.....	[1,6E-05]	Testes.....	[2,3E-06]	Uterus.....	[5,1E-06]
Pancreas.....	[3,2E-05]	Brain.....	[6,6E-07]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	2,41E-04				
Submersion :	5,24E-06				
4,000	1,3E-04	6,6E+06	5,0E+02	4,2E-06	02:41
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 4,000 km					
Skin.....	[2,4E-05]	Lung.....	[7,6E-04]	Thyroid.....	[3,7E-05]
Surface Bone	[3,2E-05]	Red Marrow...	[4,0E-05]	Liver.....	[7,5E-05]
Spleen.....	[6,1E-05]	Ovaries.....	[1,2E-05]	Adrenals.....	[6,8E-05]
Breast.....	[4,2E-05]	Stomach wall.	[6,2E-05]	SI wall.....	[1,7E-05]
ULI wall.....	[2,3E-05]	LLI wall.....	[1,9E-05]	Bladder wall.	[7,8E-06]
Thymus.....	[1,3E-04]	Esophagus....	[1,3E-04]	Muscle.....	[4,2E-05]
Kidneys.....	[3,6E-05]	Testes.....	[5,3E-06]	Uterus.....	[1,1E-05]
Pancreas.....	[7,1E-05]	Brain.....	[1,7E-06]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,31E-04				
Submersion :	1,58E-06				
6,000	8,8E-05	4,4E+06	2,6E+02	2,2E-06	04:02
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 6,000 km					
Skin.....	[1,6E-05]	Lung.....	[5,1E-04]	Thyroid.....	[2,5E-05]
Surface Bone	[2,1E-05]	Red Marrow...	[2,6E-05]	Liver.....	[5,0E-05]
Spleen.....	[4,1E-05]	Ovaries.....	[7,8E-06]	Adrenals.....	[4,5E-05]
Breast.....	[2,8E-05]	Stomach wall.	[4,1E-05]	SI wall.....	[1,1E-05]
ULI wall.....	[1,5E-05]	LLI wall.....	[1,2E-05]	Bladder wall.	[5,1E-06]
Thymus.....	[8,5E-05]	Esophagus....	[8,5E-05]	Muscle.....	[2,8E-05]
Kidneys.....	[2,4E-05]	Testes.....	[3,4E-06]	Uterus.....	[7,5E-06]
Pancreas.....	[4,7E-05]	Brain.....	[1,0E-06]		

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	8,69E-05				
Submersion :	9,38E-07				
8,000	6,6E-05	3,3E+06	1,8E+02	1,6E-06	05:23
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 8,000 km					
Skin.....	[1,2E-05]	Lung.....	[3,8E-04]	Thyroid.....	[1,9E-05]
Surface Bone.	[1,6E-05]	Red Marrow...	[2,0E-05]	Liver.....	[3,8E-05]
Spleen.....	[3,1E-05]	Ovaries.....	[9,9E-06]	Adrenals.....	[3,4E-05]
Breast.....	[2,1E-05]	Stomach wall.	[3,1E-05]	SI wall.....	[8,4E-06]
ULI wall.....	[1,1E-05]	LLI wall.....	[9,4E-06]	Bladder wall.	[3,8E-06]
Thymus.....	[6,4E-05]	Esophagus.....	[6,4E-05]	Muscle.....	[2,1E-05]
Kidneys.....	[1,8E-05]	Testes.....	[2,6E-06]	uterus.....	[5,7E-06]
Pancreas.....	[3,6E-05]	Brain.....	[7,4E-07]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	6,56E-05				
Submersion :	6,96E-07				
10,000	5,4E-05	2,7E+06	1,5E+02	1,2E-06	06:43
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 10,000 km					
Skin.....	[9,8E-06]	Lung.....	[3,1E-04]	Thyroid.....	[1,5E-05]
Surface Bone.	[1,3E-05]	Red Marrow...	[1,6E-05]	Liver.....	[3,1E-05]
Spleen.....	[2,5E-05]	Ovaries.....	[4,7E-06]	Adrenals.....	[2,7E-05]
Breast.....	[1,7E-05]	Stomach wall.	[2,5E-05]	SI wall.....	[6,8E-06]
ULI wall.....	[9,2E-06]	LLI wall.....	[7,6E-06]	Bladder wall.	[3,1E-06]
Thymus.....	[5,2E-05]	Esophagus.....	[5,2E-05]	Muscle.....	[1,7E-05]
Kidneys.....	[1,4E-05]	Testes.....	[2,1E-06]	uterus.....	[4,6E-06]
Pancreas.....	[2,9E-05]	Brain.....	[5,9E-07]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	5,30E-05				
Submersion :	5,57E-07				
20,000	1,9E-05	9,5E+05	1,1E+01	9,7E-08	13:27
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 20,000 km					
Skin.....	[3,4E-06]	Lung.....	[1,1E-04]	Thyroid.....	[5,3E-06]
Surface Bone.	[4,5E-06]	Red Marrow...	[5,6E-06]	Liver.....	[1,1E-05]
Spleen.....	[8,7E-06]	Ovaries.....	[1,6E-06]	Adrenals.....	[9,6E-06]
Breast.....	[6,0E-06]	Stomach wall.	[8,8E-06]	SI wall.....	[2,3E-06]
ULI wall.....	[3,2E-06]	LLI wall.....	[2,6E-06]	Bladder wall.	[1,0E-06]
Thymus.....	[1,8E-05]	Esophagus.....	[1,8E-05]	Muscle.....	[6,0E-06]
Kidneys.....	[5,1E-06]	Testes.....	[6,7E-07]	uterus.....	[1,6E-06]
Pancreas.....	[1,0E-05]	Brain.....	[1,4E-07]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,87E-05				
Submersion :	1,33E-07				
40,000	5,4E-06	2,8E+05	1,3E+00	1,1E-08	>24:00
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 40,000 km					
Skin.....	[9,8E-07]	Lung.....	[3,2E-05]	Thyroid.....	[1,5E-06]
Surface Bone.	[1,3E-06]	Red Marrow...	[1,6E-06]	Liver.....	[3,1E-06]
Spleen.....	[2,5E-06]	Ovaries.....	[4,7E-07]	Adrenals.....	[2,8E-06]
Breast.....	[1,7E-06]	Stomach wall.	[2,5E-06]	SI wall.....	[6,7E-07]
ULI wall.....	[9,2E-07]	LLI wall.....	[7,6E-07]	Bladder wall.	[3,0E-07]
Thymus.....	[5,3E-06]	Esophagus.....	[5,3E-06]	Muscle.....	[1,7E-06]
Kidneys.....	[1,5E-06]	Testes.....	[1,9E-07]	uterus.....	[4,5E-07]
Pancreas.....	[2,9E-06]	Brain.....	[3,8E-08]		

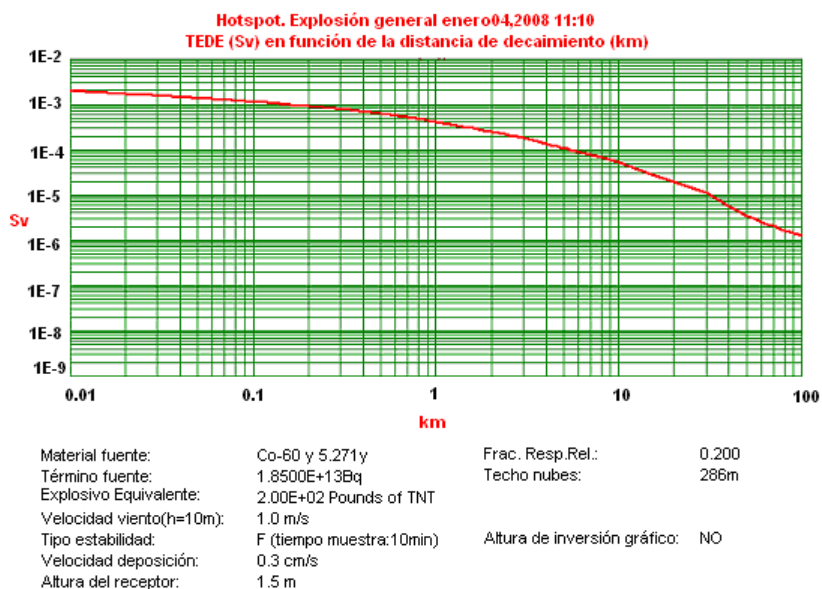
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	5,41E-06				
Submersion :	3,54E-08				
60,000	2,6E-06	1,3E+05	5,0E-01	4,3E-09	>24:00
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 60,000 km					
Skin.....	[4,6E-07]	Lung.....	[1,5E-05]	Thyroid.....	[7,1E-07]
Surface Bone.....	[6,0E-07]	Red Marrow...	[7,6E-07]	Liver.....	[1,5E-06]
Spleen.....	[1,2E-06]	Ovaries.....	[2,2E-07]	Adrenals.....	[1,3E-06]
Breast.....	[8,1E-07]	Stomach wall...	[1,2E-06]	SI wall.....	[3,2E-07]
ULI wall.....	[4,3E-07]	LLI wall.....	[3,5E-07]	Bladder wall...	[1,4E-07]
Thymus.....	[2,5E-06]	Esophagus....	[2,5E-06]	Muscle.....	[8,1E-07]
Kidneys.....	[6,9E-07]	Testes.....	[8,9E-08]	uterus.....	[2,1E-07]
Pancreas.....	[1,4E-06]	Brain.....	[1,7E-08]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	2,54E-06				
Submersion :	1,64E-08				
80,000	1,7E-06	8,4E+04	3,3E-01	2,8E-09	>24:00
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 80,000 km					
Skin.....	[3,0E-07]	Lung.....	[9,7E-06]	Thyroid.....	[4,6E-07]
Surface Bone.....	[3,9E-07]	Red Marrow...	[4,9E-07]	Liver.....	[9,5E-07]
Spleen.....	[7,6E-07]	Ovaries.....	[1,4E-07]	Adrenals.....	[8,5E-07]
Breast.....	[5,3E-07]	Stomach wall...	[7,7E-07]	SI wall.....	[2,1E-07]
ULI wall.....	[2,8E-07]	LLI wall.....	[2,3E-07]	Bladder wall...	[9,1E-08]
Thymus.....	[1,6E-06]	Esophagus....	[1,6E-06]	Muscle.....	[5,2E-07]
Kidneys.....	[4,5E-07]	Testes.....	[5,8E-08]	uterus.....	[1,4E-07]
Pancreas.....	[8,9E-07]	Brain.....	[1,1E-08]		

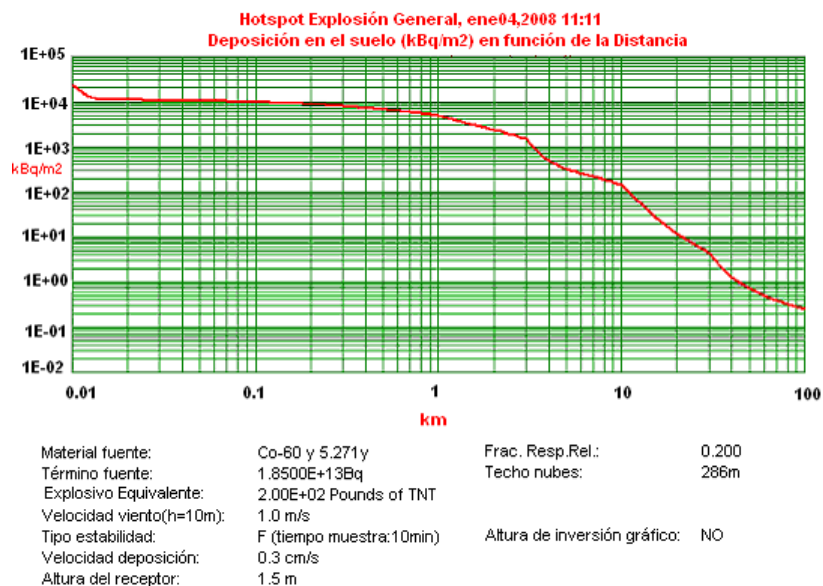
#### 4.1.1.11. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv

La siguiente imagen es el **gráfico continuo** que nos expone los **valores de la TEDE en Sv** (Dosis Total Equivalente Efectiva por todos los conceptos EDE+CDE, sumersión e inhalación efecto a 50 años) con la distancia desde el punto de explosión, se dan los datos generales de la misma, así como algún cálculo atmosférico, como es la máxima altura de la emisión 286 m. (inferior a 300 m.) y por lo tanto la no existencia de capa de inversión, lo que viene a decir que existe una máxima difusión atmosférica del contaminante. El valor máximo de la TEDE es de 2,03E-03 Sv que se produce a una distancia de 0,010 Km, es decir en un círculo de 10 m alrededor del punto de la explosión, este sería el máximo valor de exposición al que se somete la población y con el cual se deberían hacer las estimaciones de inducción de canceres, pero lo cierto es que si observamos la primera tabla de datos, el sistema nos dice que a distancia de la explosión entre 11 m y 18 m se producen presiones de 25 psi que resultan letales para las personas expuestas, por lo que deja de tener sentido el estudio de riesgo radiológico asociado a esta máxima exposición.



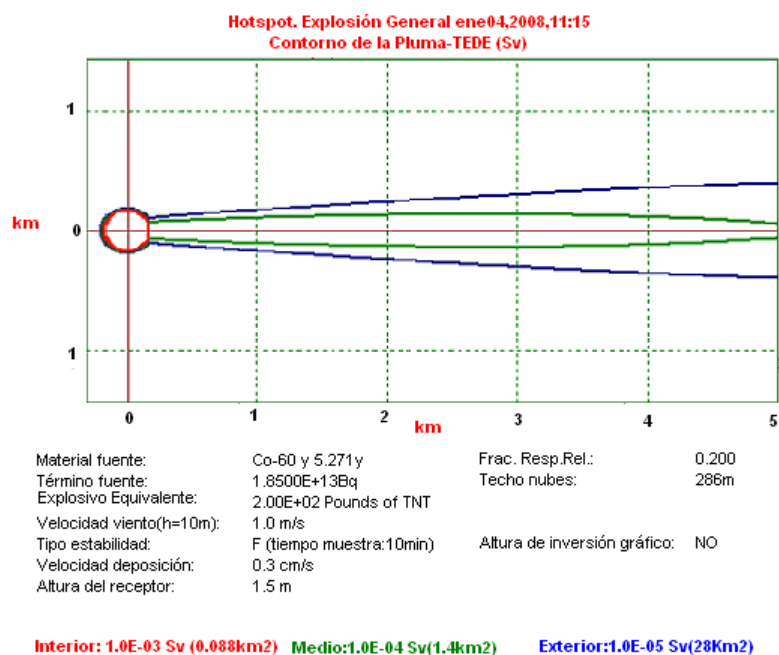
**4.1.1.12. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)**

La siguiente imagen es el **gráfico continuo** que nos expone los **valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)** depositada por efecto de la gravedad combinada con el arrastre dinámico del viento, denominada como deposición en función de la distancia.

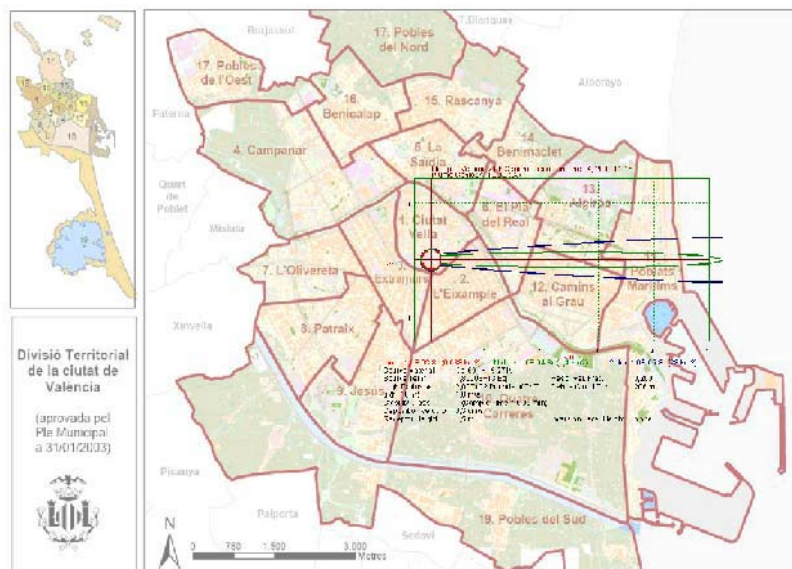


#### 4.1.1.13. Pluma de la exposición, de isoexposición (TEDE en Sv)

En las imágenes siguientes, se aprecia la “**pluma de la explosión**” delimitada por curvas de **isoexposición (TEDE en Sv)** en diferentes colores que indican los valores de representación escogidos, todo ello en función de la distancia y para diferentes escalas. Los gráficos determinan la superficie afectada con cada isoexposición, cuestión esta que posteriormente se utilizara en la presente tesis para poder estimar la población expuesta.

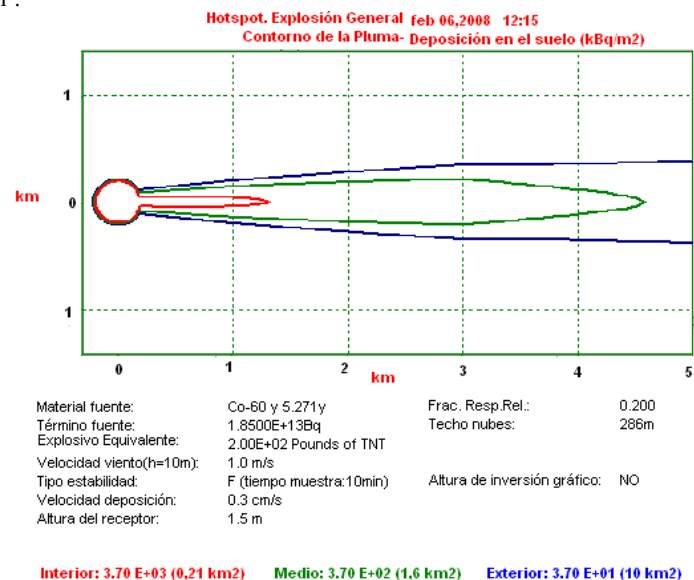


#### 4.1.1.14. Pluma exposición TEDE sobre Valencia

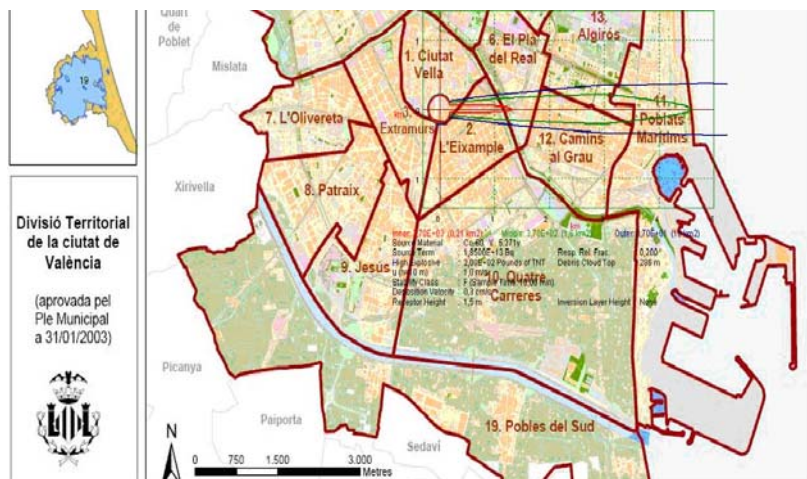


#### 4.1.1.15. Distribuciones de la contaminación superficial

En las imágenes siguientes se exponen con diferentes escalas las **distribuciones de la contaminación superficial** producida por el paso de la nube radiactiva en  $\text{kBq}/\text{m}^2$ .



#### 4.1.1.16. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia



#### 4.1.1.17. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión

**Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión**, será para una máxima exposición de  $2E-03Sv$  exposición única del público, vida estimada de 50 años caso propuesto en este escenario.

*Dosis de exposición:* 2mSv

*Tipo exposición:* única y continua

*Exceso de riesgo de cáncer:* 70 años

*Factor de riesgo:* población ERR% 0.064

Para la máxima exposición grafada en la pluma del modelo escogido en este escenario (1 mSv TEDE), el cálculo asociado de riesgo de inducción de cánceres sería:

*Dosis de exposición:* 1mSv

*Tipo exposición:* única y continua

*Exceso de riesgo de cáncer:* 50 años

*Factor de riesgo:* población ERR% 0,03202526

#### 4.1.2. Escenario II

##### 4.1.2.1. Parámetros de cálculo explosión (suelo radiante)

En los datos siguientes se reproducen la simulación anterior, pero en este caso se incluye la contribución de la irradiación procedente de la contaminación radiactiva del suelo (4-days of Ground Shine) durante los 4 días posteriores a la explosión (se incluye el de la explosión).

##### Datos de Cálculo:

*Terreno:* Estándar

*Altura a la que se mide la velocidad del viento:* 10 m

*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)

*Tiempo de prueba:* 10min

*Incluido 4 días de irradiación desde el suelo:* SI

*Lluvia:* NO

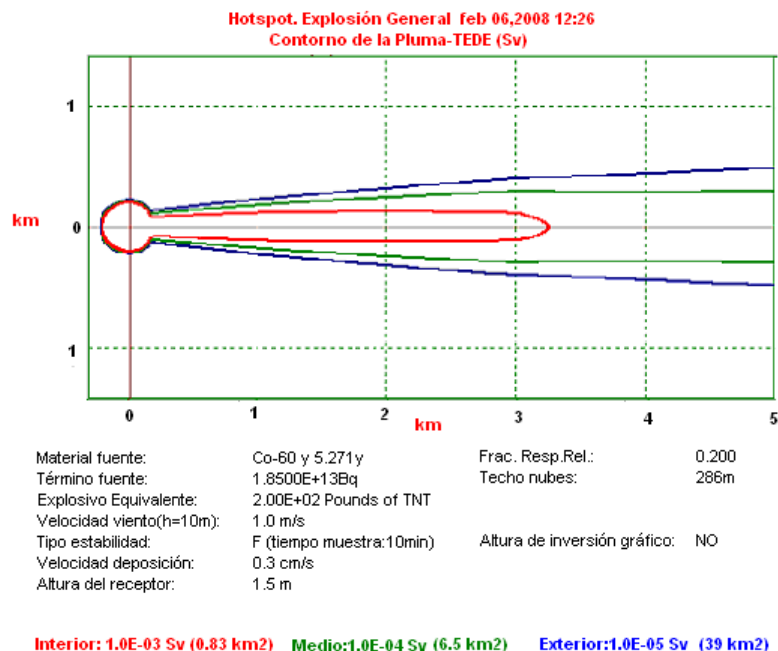
*Tasa de respiración:* 3.33E-04 m3/seg

*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg

*Altitud de la fuente:* 0m

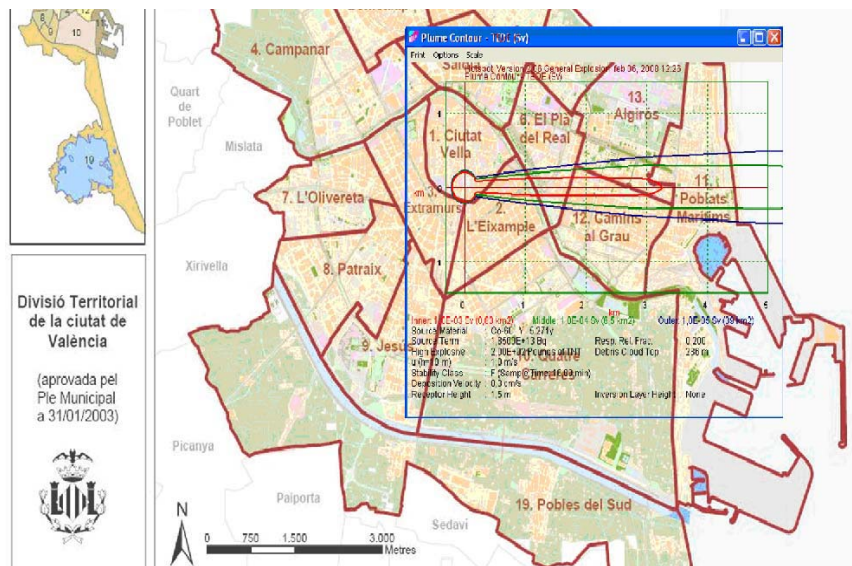
##### 4.1.2.2. Pluma de la exposición, de isoexposición (TEDE en Sv)

Imagen siguiente, isoexposiciones en función de la distancia (TEDE).

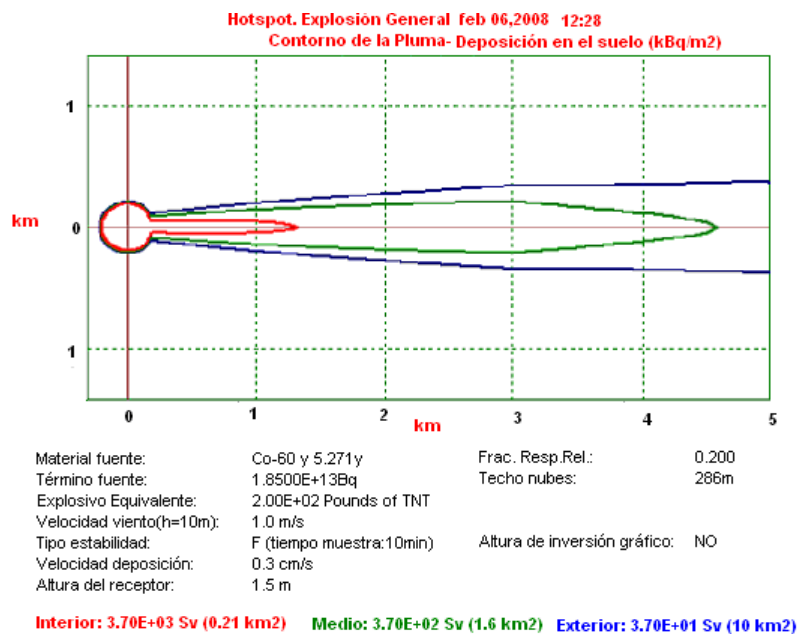




#### 4.1.2.3. Pluma exposición TEDE sobre Valencia



#### 4.1.2.4. Distribuciones de la contaminación superficial

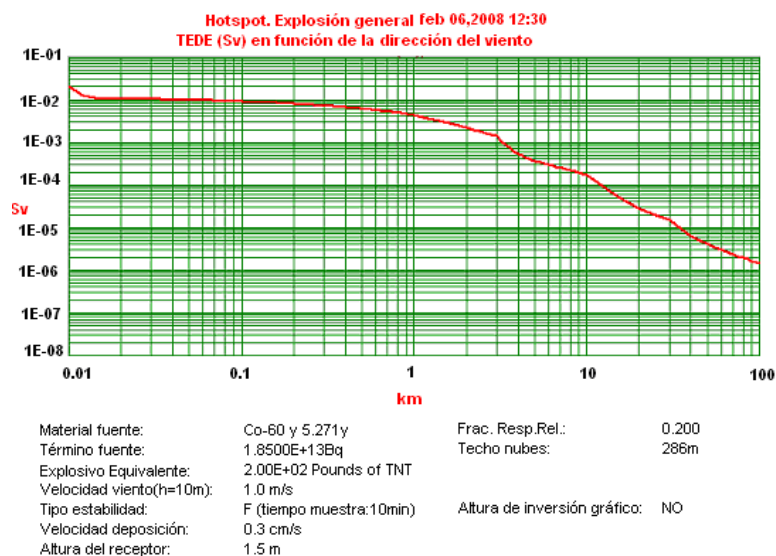


#### 4.1.2.5. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia

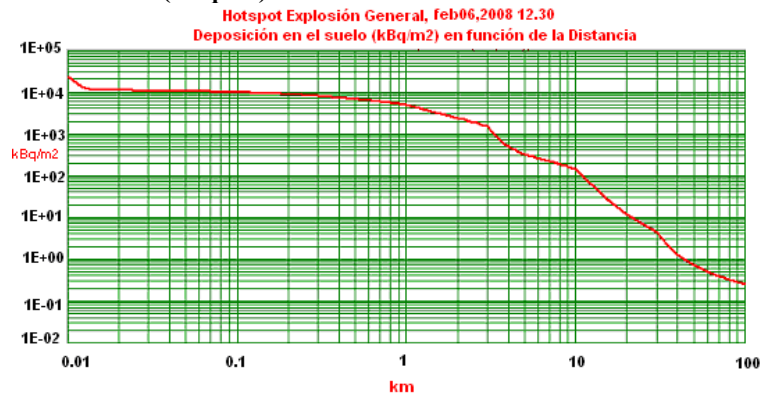


#### 4.1.2.6. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv

Las dos siguientes imágenes son las exposiciones y contaminaciones, respectivamente en función de la distancia y en gráficos continuos.



**4.1.2.7. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)**



Material fuente:	Co-60 y 5.271y	Frac. Resp.Rel:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

**4.1.2.8. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos más significativos.**

Las siguientes imágenes son el resumen de datos y cálculos de la simulación planteada en esta ocasión.

```

Source Material      : Co-60 Y 5.271y
Source Term         : 1,8500E+13 Bq
Airborne Fraction   : 1,000
Respirable Fraction : 0,200
Respirable Release Fraction: 0,200
Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
High Explosive      : 200,00 Pounds of TNT
Debris Cloud Top    : 286 m

UNMITIGATED BLAST DAMAGE
IABTI safe distance : 521 m (1710 ft)
Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 25 m - 40 m (84 ft - 133 ft)
Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 18 m - 27 m (58 ft - 88 ft)
Onset of lethality (25 psi) : 11 m - 18 m (37 ft - 58 ft)
Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range
      corresponds to reflected overpressure generated using
      Sandia National Laboratories BLAST model.

Stability Class      : F
Respirable Dep. Vel. : 0,30 cm/s
Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s
Receptor Height      : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time          : 10,000 min
Breathing Rate       : 3,33E-04 m³/sec

TEDE includes        : Inhalation dose + Submersion
Maximum Dose Distance : 0,010 km
Maximum TEDE         : 0,021 Sv
Inner Contour Dose   : 1,00E-03 Sv
Middle Contour Dose  : 1,00E-04 Sv
Outer Contour Dose   : 1,00E-05 Sv
Exceeds Inner Dose Out To : 3,24 km
Exceeds Middle Dose Out To : 11,70 km
Exceeds outer Dose Out To : 33,59 km
    
```

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
0,030	1,0E-02	7,7E+07	1,1E+04	9,0E-05	00:01
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,030 km					
skin.....	[1,0E-02]	Lung.....	[1,7E-02]	Thyroid.....	[8,7E-03]
Surface Bone.	[1,2E-02]	Red Marrow...	[9,0E-03]	Liver.....	[8,9E-03]
Spleen.....	[8,8E-03]	Ovaries.....	[1,6E-02]	Adrenals.....	[8,3E-03]
Breast.....	[9,1E-03]	Stomach wall.	[8,7E-03]	SI wall.....	[8,2E-03]
ULI wall.....	[8,3E-03]	LLI wall.....	[8,5E-03]	Bladder wall.	[8,3E-03]
Thymus.....	[9,2E-03]	Esophagus....	[8,8E-03]	Muscle.....	[9,5E-03]
Kidneys.....	[8,6E-03]	Testes.....	[9,1E-03]	uterus.....	[8,0E-03]
Pancreas.....	[8,4E-03]	Brain.....	[8,0E-03]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,51E-03				
Submersion :	2,61E-05				
Ground shine:	8,64E-03				
0,100	9,0E-03	5,6E+07	9,7E+03	8,2E-05	00:04
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,100 km					
skin.....	[9,5E-03]	Lung.....	[1,4E-02]	Thyroid.....	[7,9E-03]
Surface Bone.	[1,1E-02]	Red Marrow...	[8,2E-03]	Liver.....	[8,0E-03]
Spleen.....	[7,9E-03]	Ovaries.....	[1,5E-02]	Adrenals.....	[7,4E-03]
Breast.....	[8,2E-03]	Stomach wall.	[7,9E-03]	SI wall.....	[7,5E-03]
ULI wall.....	[7,5E-03]	LLI wall.....	[7,7E-03]	Bladder wall.	[7,5E-03]
Thymus.....	[8,2E-03]	Esophagus....	[7,8E-03]	Muscle.....	[8,6E-03]
Kidneys.....	[7,8E-03]	Testes.....	[8,3E-03]	uterus.....	[7,3E-03]
Pancreas.....	[7,5E-03]	Brain.....	[7,3E-03]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,11E-03				
Submersion :	2,22E-05				
Ground shine:	7,91E-03				
0,200	8,0E-03	4,5E+07	8,7E+03	7,4E-05	00:08
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,200 km					
skin.....	[8,5E-03]	Lung.....	[1,2E-02]	Thyroid.....	[7,1E-03]
Surface Bone.	[9,6E-03]	Red Marrow...	[7,3E-03]	Liver.....	[7,1E-03]
Spleen.....	[7,0E-03]	Ovaries.....	[1,3E-02]	Adrenals.....	[6,6E-03]
Breast.....	[7,4E-03]	Stomach wall.	[7,0E-03]	SI wall.....	[6,7E-03]
ULI wall.....	[6,7E-03]	LLI wall.....	[6,9E-03]	Bladder wall.	[6,8E-03]
Thymus.....	[7,2E-03]	Esophagus....	[6,9E-03]	Muscle.....	[7,7E-03]
Kidneys.....	[7,0E-03]	Testes.....	[7,4E-03]	uterus.....	[6,5E-03]
Pancreas.....	[6,7E-03]	Brain.....	[6,5E-03]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	8,92E-04				
Submersion :	1,93E-05				
Ground shine:	7,09E-03				
0,300	7,2E-03	3,9E+07	7,9E+03	6,7E-05	00:12
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,300 km					
skin.....	[7,7E-03]	Lung.....	[1,1E-02]	Thyroid.....	[6,4E-03]
Surface Bone.	[8,7E-03]	Red Marrow...	[6,6E-03]	Liver.....	[6,4E-03]
Spleen.....	[6,4E-03]	Ovaries.....	[1,2E-02]	Adrenals.....	[6,0E-03]
Breast.....	[6,7E-03]	Stomach wall.	[6,3E-03]	SI wall.....	[6,0E-03]
ULI wall.....	[6,1E-03]	LLI wall.....	[6,3E-03]	Bladder wall.	[6,1E-03]
Thymus.....	[6,5E-03]	Esophagus....	[6,2E-03]	Muscle.....	[7,0E-03]
Kidneys.....	[6,3E-03]	Testes.....	[6,7E-03]	uterus.....	[5,9E-03]
Pancreas.....	[6,0E-03]	Brain.....	[5,9E-03]		

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 7,65E-04 Submersion : 1,72E-05 Ground shine: 6,43E-03					
0,400	6,6E-03	3,4E+07	7,3E+03	6,1E-05	00:16
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,400 km					
Skin.....	[7,1E-03]	Lung.....	[9,6E-03]	Thyroid.....	[5,8E-03]
Surface Bone.	[8,0E-03]	Red Marrow..	[6,1E-03]	Liver.....	[5,9E-03]
Spleen.....	[5,8E-03]	Ovaries.....	[1,1E-02]	Adrenals....	[5,5E-03]
Breast.....	[6,1E-03]	Stomach wall.	[5,8E-03]	SI wall.....	[5,5E-03]
ULI wall.....	[5,6E-03]	LLI wall.....	[5,7E-03]	Bladder wall.	[5,6E-03]
Thymus.....	[5,9E-03]	Esophagus....	[5,6E-03]	Muscle.....	[6,4E-03]
Kidneys.....	[5,8E-03]	Testes.....	[6,2E-03]	Uterus.....	[5,4E-03]
Pancreas.....	[5,5E-03]	Brain.....	[5,4E-03]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 6,71E-04 Submersion : 1,56E-05 Ground shine: 5,89E-03					
0,500	6,1E-03	3,1E+07	6,7E+03	5,7E-05	00:20
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,500 km					
Skin.....	[6,5E-03]	Lung.....	[8,8E-03]	Thyroid.....	[5,4E-03]
Surface Bone.	[7,4E-03]	Red Marrow..	[5,6E-03]	Liver.....	[5,4E-03]
Spleen.....	[5,4E-03]	Ovaries.....	[1,0E-02]	Adrenals....	[5,0E-03]
Breast.....	[5,6E-03]	Stomach wall.	[5,3E-03]	SI wall.....	[5,1E-03]
ULI wall.....	[5,2E-03]	LLI wall.....	[5,3E-03]	Bladder wall.	[5,2E-03]
Thymus.....	[5,5E-03]	Esophagus....	[5,2E-03]	Muscle.....	[5,9E-03]
Kidneys.....	[5,3E-03]	Testes.....	[5,7E-03]	uterus.....	[5,0E-03]
Pancreas.....	[5,1E-03]	Brain.....	[5,0E-03]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 6,01E-04 Submersion : 1,43E-05 Ground shine: 5,44E-03					
0,600	5,6E-03	2,8E+07	6,2E+03	5,3E-05	00:24
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,600 km					
Skin.....	[6,0E-03]	Lung.....	[8,1E-03]	Thyroid.....	[5,0E-03]
Surface Bone.	[6,8E-03]	Red Marrow..	[5,2E-03]	Liver.....	[5,0E-03]
Spleen.....	[5,0E-03]	Ovaries.....	[9,4E-03]	Adrenals....	[4,7E-03]
Breast.....	[5,2E-03]	Stomach wall.	[5,0E-03]	SI wall.....	[4,7E-03]
ULI wall.....	[4,8E-03]	LLI wall.....	[4,9E-03]	Bladder wall.	[4,8E-03]
Thymus.....	[5,1E-03]	Esophagus....	[4,8E-03]	Muscle.....	[5,5E-03]
Kidneys.....	[4,9E-03]	Testes.....	[5,3E-03]	uterus.....	[4,6E-03]
Pancreas.....	[4,7E-03]	Brain.....	[4,7E-03]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 5,45E-04 Submersion : 1,32E-05 Ground shine: 5,05E-03					
0,700	5,2E-03	2,5E+07	5,8E+03	4,9E-05	00:28
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,700 km					
Skin.....	[5,6E-03]	Lung.....	[7,5E-03]	Thyroid.....	[4,7E-03]
Surface Bone.	[6,4E-03]	Red Marrow..	[4,8E-03]	Liver.....	[4,7E-03]
Spleen.....	[4,6E-03]	Ovaries.....	[8,7E-03]	Adrenals....	[4,4E-03]
Breast.....	[4,9E-03]	Stomach wall.	[4,6E-03]	SI wall.....	[4,4E-03]
ULI wall.....	[4,5E-03]	LLI wall.....	[4,6E-03]	Bladder wall.	[4,5E-03]
Thymus.....	[4,7E-03]	Esophagus....	[4,5E-03]	Muscle.....	[5,1E-03]
Kidneys.....	[4,6E-03]	Testes.....	[4,9E-03]	uterus.....	[4,3E-03]
Pancreas.....	[4,4E-03]	Brain.....	[4,4E-03]		

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 4,99E-04 Submersion : 1,22E-05 Ground shine: 4,72E-03					
0,800	4,9E-03	2,3E+07	5,5E+03	4,6E-05	00:32
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,800 km					
skin.....	[5,3E-03]	Lung.....	[7,0E-03]	Thyroid.....	[4,4E-03]
Surface Bone.	[6,0E-03]	Red Marrow...	[4,5E-03]	Liver.....	[4,4E-03]
Spleen.....	[4,4E-03]	Ovaries.....	[8,2E-03]	Adrenals.....	[4,1E-03]
Breast.....	[4,6E-03]	Stomach wall.	[4,3E-03]	SI wall.....	[4,2E-03]
ULI wall.....	[4,2E-03]	LLI wall.....	[4,3E-03]	Bladder wall.	[4,2E-03]
Thymus.....	[4,4E-03]	Esophagus....	[4,2E-03]	Muscle.....	[4,8E-03]
Kidneys.....	[4,3E-03]	Testes.....	[4,6E-03]	uterus.....	[4,1E-03]
Pancreas....	[4,1E-03]	Brain.....	[4,1E-03]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 4,61E-04 Submersion : 1,14E-05 Ground shine: 4,43E-03					
0,900	4,6E-03	2,2E+07	5,1E+03	4,4E-05	00:36
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,900 km					
skin.....	[5,0E-03]	Lung.....	[6,6E-03]	Thyroid.....	[4,1E-03]
Surface Bone.	[5,6E-03]	Red Marrow...	[4,3E-03]	Liver.....	[4,1E-03]
Spleen.....	[4,1E-03]	Ovaries.....	[7,7E-03]	Adrenals.....	[3,9E-03]
Breast.....	[4,3E-03]	Stomach wall.	[4,1E-03]	SI wall.....	[3,9E-03]
ULI wall.....	[4,0E-03]	LLI wall.....	[4,1E-03]	Bladder wall.	[4,0E-03]
Thymus.....	[4,2E-03]	Esophagus....	[3,9E-03]	Muscle.....	[4,5E-03]
Kidneys.....	[4,1E-03]	Testes.....	[4,4E-03]	uterus.....	[3,8E-03]
Pancreas....	[3,9E-03]	Brain.....	[3,9E-03]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 4,29E-04 Submersion : 1,08E-05 Ground shine: 4,18E-03					
1,000	4,4E-03	2,0E+07	4,9E+03	4,1E-05	00:40
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 1,000 km					
skin.....	[4,7E-03]	Lung.....	[6,2E-03]	Thyroid.....	[3,9E-03]
Surface Bone.	[5,3E-03]	Red Marrow...	[4,1E-03]	Liver.....	[3,9E-03]
Spleen.....	[3,9E-03]	Ovaries.....	[7,3E-03]	Adrenals.....	[3,6E-03]
Breast.....	[4,1E-03]	Stomach wall.	[3,9E-03]	SI wall.....	[3,7E-03]
ULI wall.....	[3,7E-03]	LLI wall.....	[3,9E-03]	Bladder wall.	[3,8E-03]
Thymus.....	[3,9E-03]	Esophagus....	[3,7E-03]	Muscle.....	[4,3E-03]
Kidneys.....	[3,9E-03]	Testes.....	[4,1E-03]	uterus.....	[3,6E-03]
Pancreas....	[3,7E-03]	Brain.....	[3,6E-03]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 4,01E-04 Submersion : 1,01E-05 Ground shine: 3,96E-03					
2,000	2,2E-03	1,2E+07	2,4E+03	2,0E-05	01:20
Target organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 2,000 km					
skin.....	[2,3E-03]	Lung.....	[3,3E-03]	Thyroid.....	[1,9E-03]
Surface Bone.	[2,6E-03]	Red Marrow...	[2,0E-03]	Liver.....	[1,9E-03]
Spleen.....	[1,9E-03]	Ovaries.....	[3,6E-03]	Adrenals.....	[1,8E-03]
Breast.....	[2,0E-03]	Stomach wall.	[1,9E-03]	SI wall.....	[1,8E-03]
ULI wall.....	[1,8E-03]	LLI wall.....	[1,9E-03]	Bladder wall.	[1,8E-03]
Thymus.....	[2,0E-03]	Esophagus....	[1,9E-03]	Muscle.....	[2,1E-03]
Kidneys.....	[1,9E-03]	Testes.....	[2,0E-03]	uterus.....	[1,8E-03]
Pancreas....	[1,8E-03]	Brain.....	[1,8E-03]		

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 2,41E-04 Submersion : 5,24E-06 Ground shine: 1,93E-03					
4,000	5,3E-04	6,6E+06	5,0E+02	4,2E-06	02:41
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 4,000 km					
Skin.....	[5,0E-04]	Lung.....	[1,2E-03]	Thyroid.....	[4,2E-04]
Surface Bone.	[5,6E-04]	Red Marrow...	[4,4E-04]	Liver.....	[4,5E-04]
Spleen.....	[4,4E-04]	Ovaries.....	[7,8E-04]	Adrenals.....	[4,2E-04]
Breast.....	[4,4E-04]	Stomach wall.	[4,3E-04]	SI wall.....	[3,9E-04]
ULI wall.....	[4,0E-04]	LLI wall.....	[4,0E-04]	Bladder wall.	[3,9E-04]
Thymus.....	[4,9E-04]	Esophagus....	[4,7E-04]	Muscle.....	[4,6E-04]
Kidneys.....	[4,2E-04]	Testes.....	[4,2E-04]	Uterus.....	[3,8E-04]
Pancreas.....	[4,2E-04]	Brain.....	[3,7E-04]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 1,31E-04 Submersion : 1,58E-06 Ground shine: 4,02E-04					
6,000	3,0E-04	4,4E+06	2,6E+02	2,2E-06	04:02
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 6,000 km					
Skin.....	[2,6E-04]	Lung.....	[7,1E-04]	Thyroid.....	[2,2E-04]
Surface Bone.	[3,0E-04]	Red Marrow...	[2,3E-04]	Liver.....	[2,4E-04]
Spleen.....	[2,3E-04]	Ovaries.....	[4,1E-04]	Adrenals.....	[2,2E-04]
Breast.....	[2,3E-04]	Stomach wall.	[2,3E-04]	SI wall.....	[2,0E-04]
ULI wall.....	[2,1E-04]	LLI wall.....	[2,1E-04]	Bladder wall.	[2,0E-04]
Thymus.....	[2,7E-04]	Esophagus....	[2,6E-04]	Muscle.....	[2,4E-04]
Kidneys.....	[2,2E-04]	Testes.....	[2,2E-04]	Uterus.....	[2,0E-04]
Pancreas.....	[2,3E-04]	Brain.....	[1,9E-04]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 8,69E-05 Submersion : 9,38E-07 Ground shine: 2,07E-04					
8,000	2,2E-04	3,3E+06	1,8E+02	1,6E-06	05:23
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 8,000 km					
Skin.....	[1,9E-04]	Lung.....	[5,3E-04]	Thyroid.....	[1,6E-04]
Surface Bone.	[2,1E-04]	Red Marrow...	[1,7E-04]	Liver.....	[1,8E-04]
Spleen.....	[1,7E-04]	Ovaries.....	[3,0E-04]	Adrenals.....	[1,6E-04]
Breast.....	[1,7E-04]	Stomach wall.	[1,7E-04]	SI wall.....	[1,5E-04]
ULI wall.....	[1,5E-04]	LLI wall.....	[1,5E-04]	Bladder wall.	[1,5E-04]
Thymus.....	[2,0E-04]	Esophagus....	[1,9E-04]	Muscle.....	[1,8E-04]
Kidneys.....	[1,6E-04]	Testes.....	[1,6E-04]	Uterus.....	[1,4E-04]
Pancreas.....	[1,7E-04]	Brain.....	[1,4E-04]		

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation : 6,56E-05 Submersion : 6,96E-07 Ground shine: 1,50E-04					
10,000	1,7E-04	2,7E+06	1,5E+02	1,2E-06	06:43
Target organ committed dose Equivalent (Sv), at Location 10,000 km					
Skin.....	[1,5E-04]	Lung.....	[4,2E-04]	Thyroid.....	[1,3E-04]
Surface Bone.	[1,7E-04]	Red Marrow...	[1,3E-04]	Liver.....	[1,4E-04]
Spleen.....	[1,4E-04]	Ovaries.....	[2,4E-04]	Adrenals.....	[1,3E-04]
Breast.....	[1,4E-04]	Stomach wall.	[1,3E-04]	SI wall.....	[1,2E-04]
ULI wall.....	[1,2E-04]	LLI wall.....	[1,2E-04]	Bladder wall.	[1,1E-04]
Thymus.....	[1,6E-04]	Esophagus....	[1,5E-04]	Muscle.....	[1,4E-04]
Kidneys.....	[1,3E-04]	Testes.....	[1,3E-04]	Uterus.....	[1,1E-04]
Pancreas.....	[1,3E-04]	Brain.....	[1,1E-04]		

Cap.IV:Resultados

DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	5,30E-05				
Submersion :	5,57E-07				
Ground shine:	1,18E-04				
20,000	2,8E-05	9,5E+05	1,1E+01	9,7E-08	13:27
-----					
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 20,000 km					
Skin.....	[1,4E-05]	Lung.....	[1,2E-04]	Thyroid.....	[1,4E-05]
Surface Bone.	[1,7E-05]	Red Marrow...	[1,5E-05]	Liver.....	[1,9E-05]
Spleen.....	[1,7E-05]	Ovaries.....	[2,5E-05]	Adrenals.....	[1,8E-05]
Breast.....	[1,5E-05]	Stomach wall.	[1,7E-05]	SI wall.....	[1,1E-05]
ULI wall.....	[2,2E-05]	LLI wall.....	[1,2E-05]	Bladder wall.	[9,9E-06]
Thymus.....	[2,7E-05]	Esophagus.....	[2,5E-05]	Muscle.....	[1,6E-05]
Kidneys.....	[1,4E-05]	Testes.....	[1,0E-05]	Uterus.....	[1,0E-05]
Pancreas.....	[1,8E-05]	Brain.....	[8,7E-06]		
-----					
DISTANCE km	T E D E (Sv)	TIME-INTEGRATED AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	GROUND SURFACE DEPOSITION (kBq/m2)	GROUND SHINE DOSE RATE (Sv/hr)	ARRIVAL TIME (hour:min)
Inhalation :	1,87E-05				
Submersion :	1,33E-07				
Ground shine:	9,34E-06				
40,000	6,5E-06	2,8E+05	1,3E+00	1,1E-08	>24:00
-----					
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 40,000 km					
Skin.....	[2,2E-06]	Lung.....	[3,3E-05]	Thyroid.....	[2,5E-06]
Surface Bone.	[2,7E-06]	Red Marrow...	[2,7E-06]	Liver.....	[4,1E-06]
Spleen.....	[3,5E-06]	Ovaries.....	[4,4E-06]	Adrenals.....	[3,7E-06]
Breast.....	[2,8E-06]	Stomach wall.	[3,5E-06]	SI wall.....	[1,6E-06]
ULI wall.....	[1,9E-06]	LLI wall.....	[1,8E-06]	Bladder wall.	[1,3E-06]
Thymus.....	[6,2E-06]	Esophagus.....	[6,2E-06]	Muscle.....	[2,8E-06]
Kidneys.....	[2,5E-06]	Testes.....	[1,3E-06]	Uterus.....	[1,4E-06]
Pancreas.....	[3,9E-06]	Brain.....	[1,0E-06]		
-----					

4.1.2.9. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión

Cálculos de excesos de probabilidad de inducción de cánceres en la población expuesta a 10 y 21 mSv. respectivamente a lo largo de su vida (50 años)

*Dosis de exposición:* 10mSv  
*Tipo exposición:* única y continua  
*Exceso de riesgo de cáncer:* 70 años  
*Factor de riesgo:* población ERR% 0,32025255

*Dosis de exposición:* 21mSv  
*Tipo exposición:* única y continua  
*Exceso de riesgo de cáncer:* 50 años  
*Factor de riesgo:* población ERR% 0,672



### 4.1.3. Escenario III

#### 4.1.3.1. Selección del modelo (resuspensión)

Cuando se calcula la **resuspensión** para una máxima concentración de  $2E+04$  KBq/m<sup>2</sup> en un radio efectivo (el que contiene el 95% de la contaminación) que tomamos como de 1 Km (con la máxima actividad), deducido la tabla de concentraciones en función de la distancia del escenario II (página ....) se estima una exposición máxima adicional a la de explosión de  $7,9E-05$  Sv, que sumados a los  $2,1E-03$  Sv de la explosión en el escenario II, prácticamente no varía el cálculo de riesgo de esta primera.

#### 4.1.3.2. Datos del término fuente

##### Término fuente

*Modelo:* Resuspensión General

*Radionucleido:* Co-60 y 5.271 años

*Deposición:*  $2.00E+04$  kBq/m<sup>2</sup>

*Velocidad de Deposición:* 3,0 cm/seg

*Factor de resuspensión:*  $1.00E-04$  1/m

*Radio emisión:*  $1.00E+03$  m

#### 4.1.3.3. Parámetros de cálculo

##### Datos de Cálculo:

*Terreno:* Estándar

*Altura del viento:* 10 m

*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)

*Tiempo de muestreo:* 60min

*Incluido 4 días de reflexión del suelo:* :NO

*Lluvia:* NO

*Tasa de respiración:*  $3.33E-04$  m<sup>3</sup>/seg

*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg

*Altitud de la fuente:* 0m

#### 4.1.3.4. Condiciones meteorológicas

##### Datos metereológicos

*Velocidad del viento a 10m:* 1.0m/s

*Tipo de Estabilidad:* F (Moderadamente Estable)

*Dirección del viento:* 270°

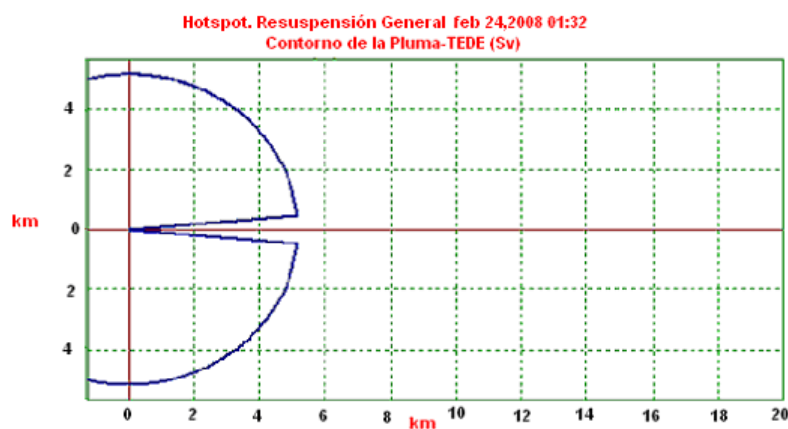
#### 4.1.3.5. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos

```

Source Material      : Co-60   Y   5.271y
Source Term         : 2,00E+04 kBq/m2
Resuspension Factor : 1,0E-04  1/m
Effective Release Radius : 1,00E+03 m
Effective Source Term : 6,00E+07 Bq/s
Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
Stability Class     : F
Respirable Dep. vel. : 3,00 cm/s
Receptor Height     : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time         : 60,000 min
Breathing Rate      : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes       : Inhalation dose + submersion
Maximum Dose Distance : 0,010 km
Maximum TEDE        : 7,90E-05 Sv
Inner Contour Dose  : 1,00E-03 Sv
Middle Contour Dose : 1,00E-04 Sv
Outer Contour Dose  : 1,00E-05 Sv
Exceeds Inner Dose out To : Not Exceeded
Exceeds Middle Dose out To : Not Exceeded
Exceeds Outer Dose out To : 0,018 km
    
```

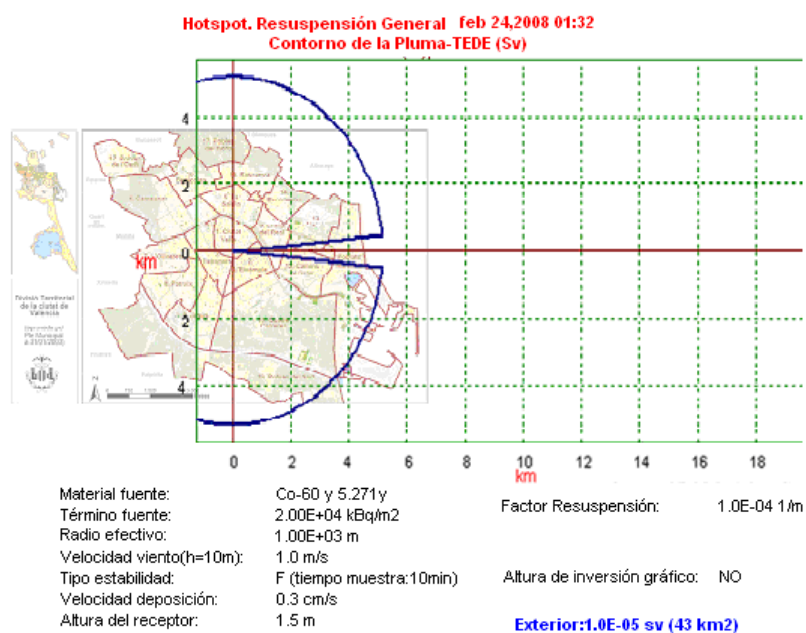
#### 4.1.3.6. Isoexposición (TEDE en Sv)



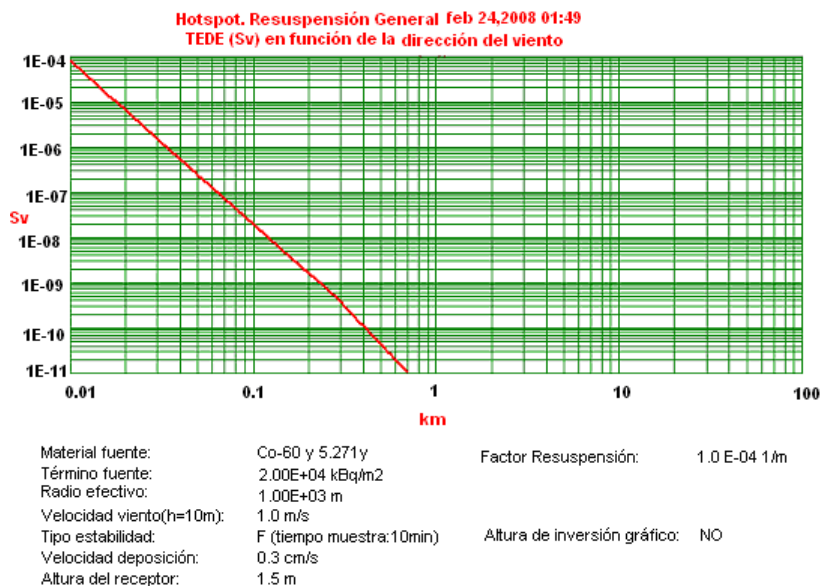
Material fuente:	Co-60 y 5.271y	Factor Resuspensión:	1.0E-04 1/m
Término fuente:	2.00E+04 kBq/m2		
Radio efectivo:	1.00E+03 m		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

**Exterior:1.0E-05 sv (43 km2)**

#### 4.1.3.7. Isoexposición sobre la ciudad de Valencia (TEDE en Sv)



#### 4.1.3.8. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv



#### 4.1.4. Escenario IV

##### 4.1.4.1. Selección del término fuente (explosión)

Hacemos la misma simulación que en el escenario I pero en esta ocasión introduciendo la lluvia moderada, veremos que disminuyen los problemas radiológicos

##### Término fuente

*Modelo:* Explosión General  
*Radionucleido:* Co-60 y 5.271 años  
*Actividad:* 1.8500E+13Bq  
*Velocidad de Deposición:* 0.30 cm/seg  
*Fracción Aerotransportada:* 1.00E+00  
*Fracción Respirable:* 2.00E-01  
*Explosión Equivalente TNT:* 2.00E+02 libras

##### 4.1.4.2. Selección parámetros cálculo (con lluvia)

##### Datos de Cálculo:

*Terreno:* Estándar  
*Altura la que se mide la velocidad del viento:* 10 m  
*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)  
*Tiempo de muestreo:* 10min  
*Incluido 4 días de irradiación del suelo:* :NO  
*Lluvia:* SI  
*Coefficiente lluvia:* 1.00E-03 l/seg  
*Tasa de respiración:* 3.33E-04 m<sup>3</sup>/seg  
*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg  
*Altitud de la fuente:* 0m

#### 4.1.4.3. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos más significativos

Source Material : Co-60 Y 5.271y  
 Source Term : 1,8500E+13 Bq  
 Airborne Fraction : 1,000  
 Respirable Fraction : 0,200  
 Respirable Release Fraction: 0,200  
 Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s  
 Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline  
 High Explosive : 200,00 Pounds of TNT  
 Debris Cloud Top : 286 m

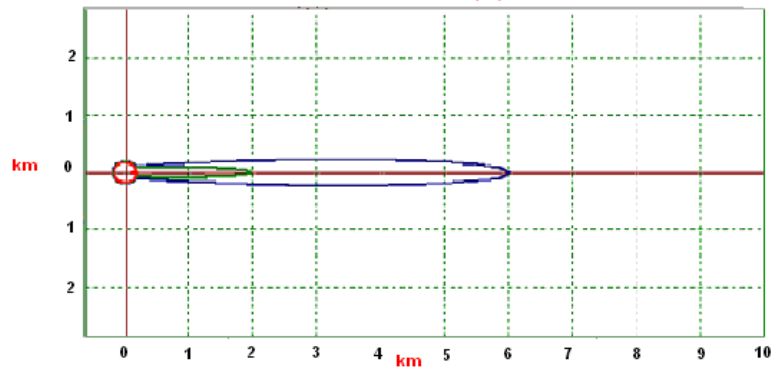
UNMITIGATED BLAST DAMAGE  
 IABTI safe distance : 521 m (1710 ft)  
 Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 25 m - 40 m (84 ft - 133 ft)  
 Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 18 m - 27 m (58 ft - 88 ft)  
 Onset of lethality (25 psi) : 11 m - 18 m (37 ft - 58 ft)  
 Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range corresponds to reflected overpressure generated using Sandia National Laboratories BLAST model.

Stability Class : F  
 Respirable Dep. vel. : 0,30 cm/s  
 Non-respirable Dep. vel. : 8,00 cm/s  
 Receptor Height : 1,5 m  
 Inversion Layer Height : None  
 Sample Time : 10,000 min  
 Washout Coefficient : 1,00E-03 1/s  
 Breathing Rate : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes : Inhalation dose + submersion  
 Maximum Dose Distance : 0,010 km  
 Maximum TEDE : 2,00E-03 Sv  
 Inner Contour Dose : 1,00E-03 Sv  
 Middle Contour Dose : 1,00E-04 Sv

#### 4.1.4.4. Isoexposición (TEDE en Sv)

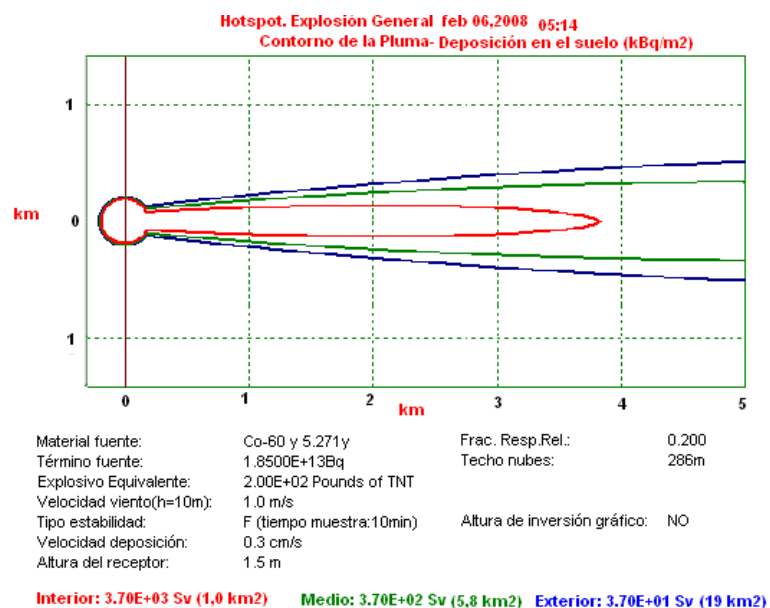
Hotspot. Explosión General ene18,2008 05:19  
 Contorno de la Pluma-TEDE (Sv)



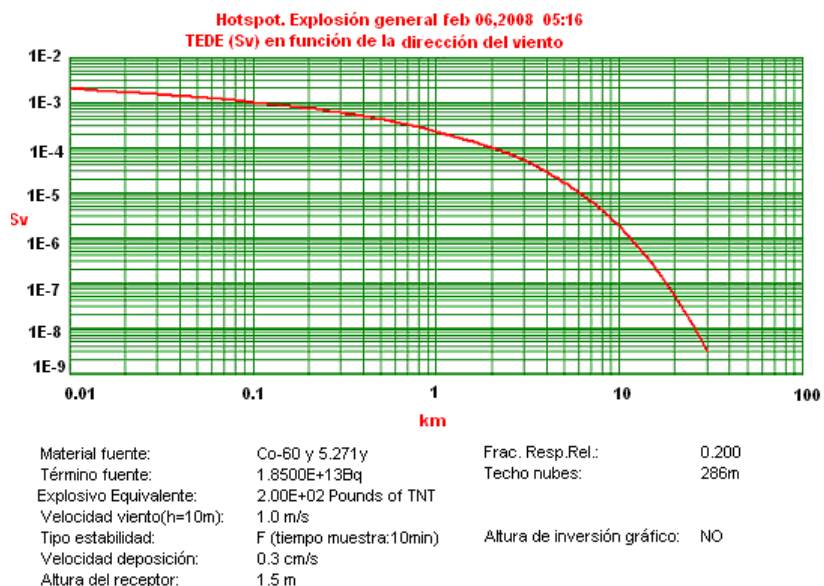
Material fuente:	Co-60 y 5.271y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

**Interior: 1.0E-03 Sv (0.063 km2) Medio: 1.0E-04 Sv (0.37 km2) Exterior: 1.0E-05 Sv (2.3 km2)**

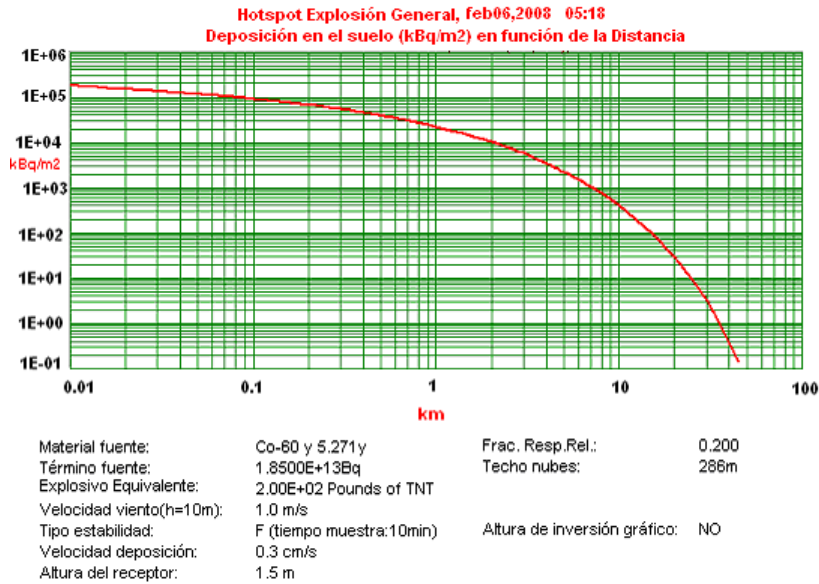
#### 4.1.4.5. Distribuciones de la contaminación superficial



#### 4.1.4.6. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv



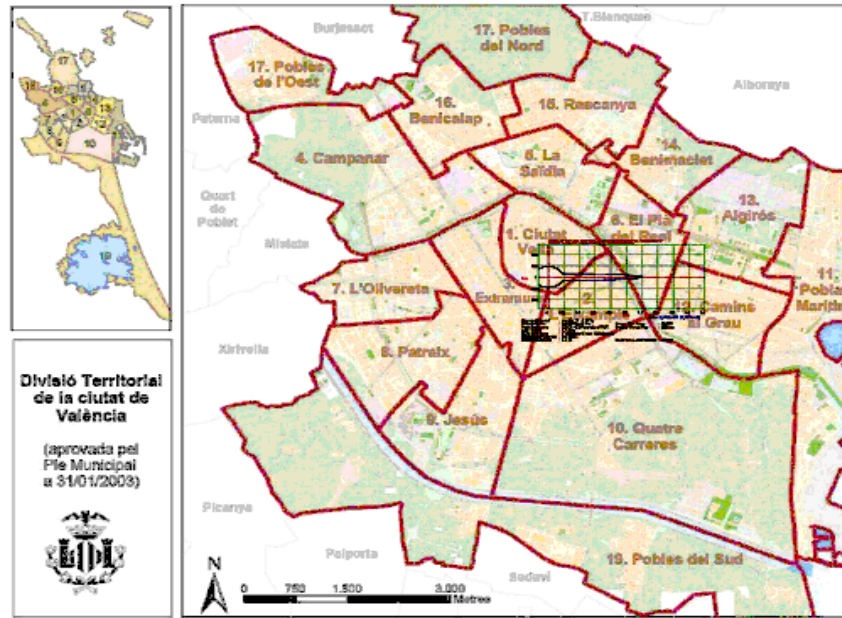
**4.1.4.7. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)**



**4.1.4.8.Isoexposición sobre la ciudad de Valencia (TEDE en Sv)**



#### 4.1.4.9. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia



#### 4.1.5. Escenario V

##### 4.1.5.1. Selección de datos meteorológicos (inestabilidad atmosférica)

Vamos a simular ahora con condiciones de inestabilidad atmosférica grande sin lluvia viento de 1m/s y veremos que también disminuyen los problemas radiológicos, resto de parámetros como escenario I.

##### Datos meteorológicos

*Velocidad del viento a 10m:* 1.0m/s

*Tipo de Estabilidad:* A (Muy inestable)

*Dirección del viento:* 270°



#### 4.1.5.2. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos más significativos

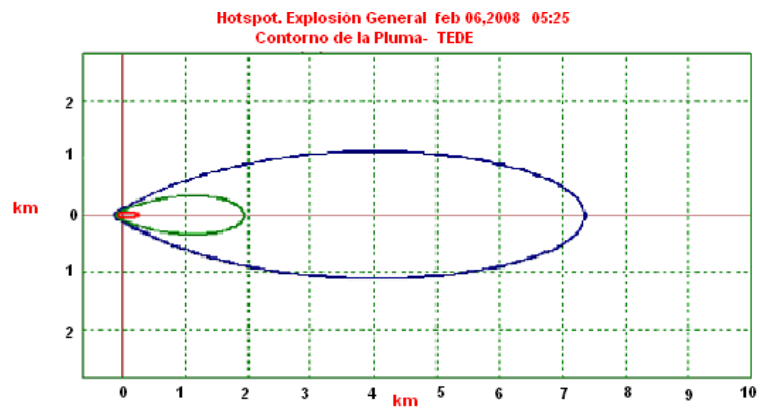
Source Term : 1,8500E+13 Bq  
 Airborne Fraction : 1,000  
 Respirable Fraction : 0,200  
 Respirable Release Fraction: 0,200  
 Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s  
 Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline  
 High Explosive : 200,00 Pounds of TNT  
 Debris Cloud Top : 286 m

UNMITIGATED BLAST DAMAGE  
 IABTI safe distance : 521 m (1710 ft)  
 Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 25 m - 40 m (84 ft - 133 ft)  
 Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 18 m - 27 m (58 ft - 88 ft)  
 Onset of lethality (25 psi) : 11 m - 18 m (37 ft - 58 ft)  
 Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range corresponds to reflected overpressure generated using Sandia National Laboratories BLAST model.

Stability Class : A  
 Respirable Dep. Vel. : 3,00 cm/s  
 Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s  
 Receptor Height : 1,5 m  
 Inversion Layer Height : None  
 Sample Time : 10,000 min  
 Breathing Rate : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes : Inhalation dose + Submersion  
 Maximum Dose Distance : 0,010 km  
 Maximum TEDE : 2,25E-03 Sv  
 Inner Contour Dose : 1,00E-03 Sv  
 Middle Contour Dose : 1,00E-04 Sv  
 Outer Contour Dose : 1,00E-05 Sv  
 Exceeds Inner Dose Out To : 0,24 km  
 Exceeds Middle Dose Out To : 1,75 km  
 Exceeds outer Dose Out To : 6,19 km

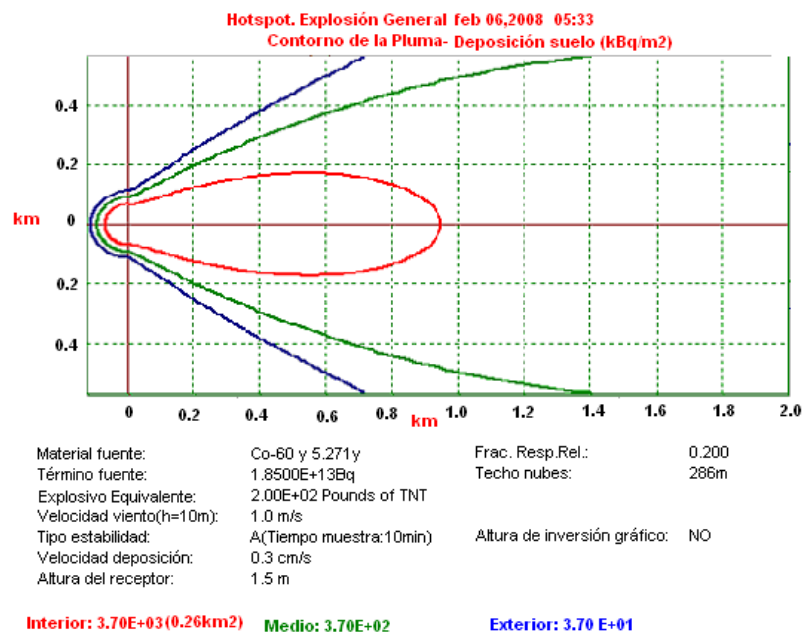
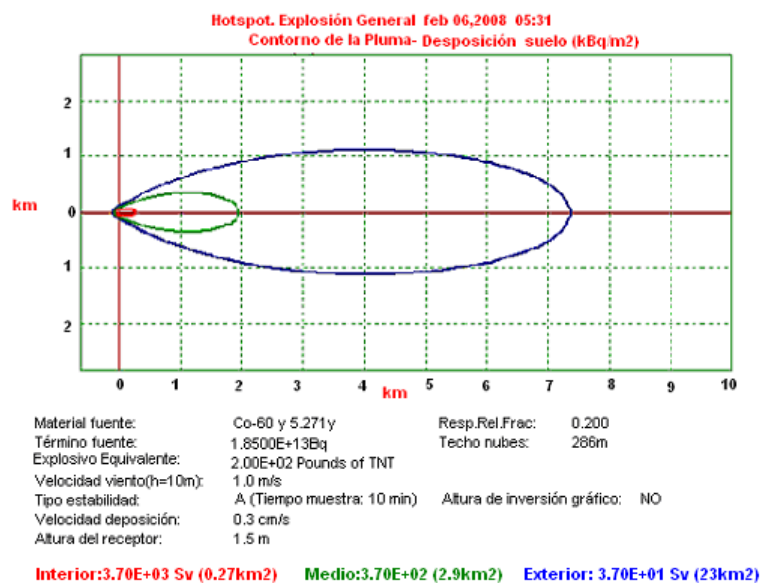
#### 4.1.5.3. Isoexposición (TEDE en Sv)



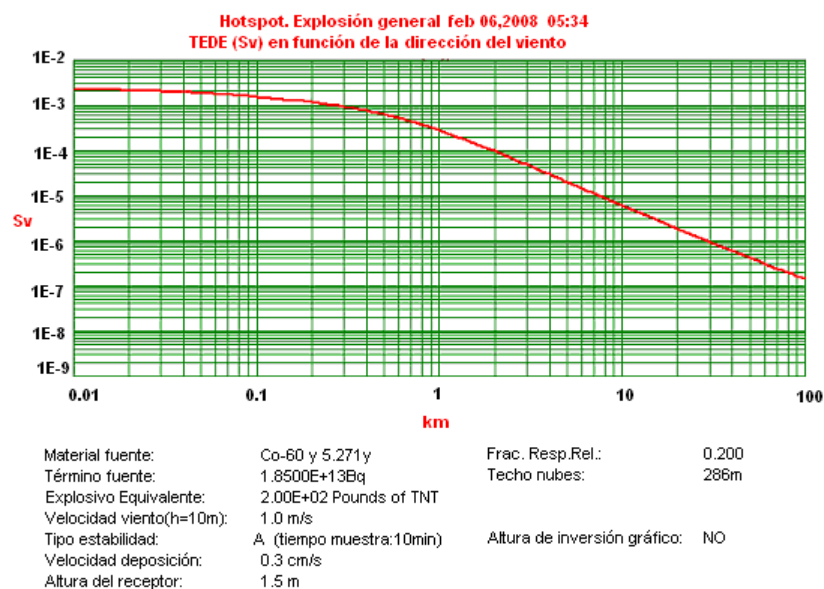
Material fuente:	Co-60 y 5.271y	Resp.Rel.Frac:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	A (Tiempo muestra: 10 min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

**Interior: 1.0E-03 Sv (0.026 km2) Medio: 1.0 E-04 Sv (1.0 km2) Exterior: 1.0E-05 Sv (12 km2)**

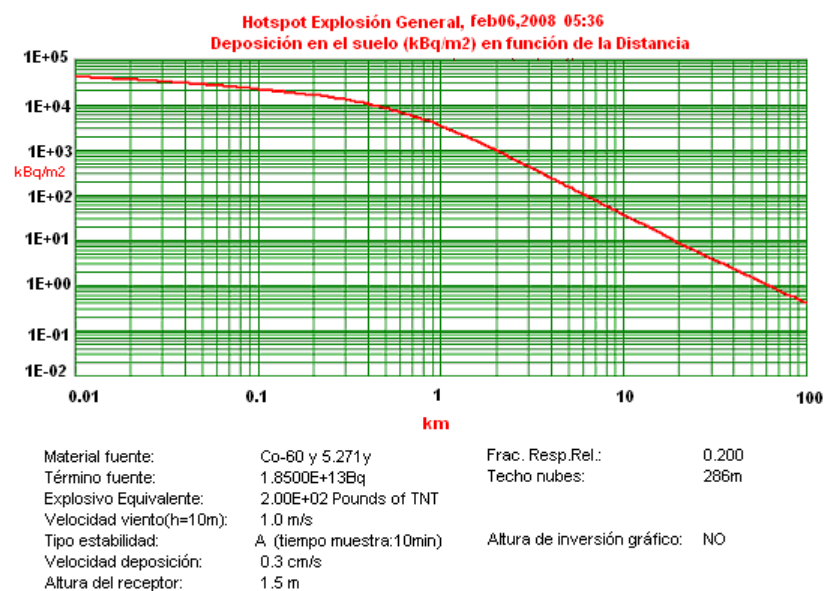
#### 4.1.5.4. Distribuciones de la contaminación superficial



#### 4.1.5.5. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv



#### 4.1.5.6. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)



#### 4.1.5.7. Pluma exposición TEDE sobre Valencia



#### 4.1.5.8. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia



#### 4.1.6. Escenario VI

##### 4.1.6.1. Selección de datos meteorológicos (viento rápido)

Ahora simularemos con estabilidad moderada f y grandes vientos (24 m/s) y sin lluvia, resto de parámetros como el escenario I, el problema radiológico, también es menor.

##### Datos meteorológicos

**Velocidad del viento a 10m:** 24.0m/s  
**Tipo de Estabilidad:** F (Moderadamente Estable)  
**Dirección del viento:** 270°

##### 4.1.6.2. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos

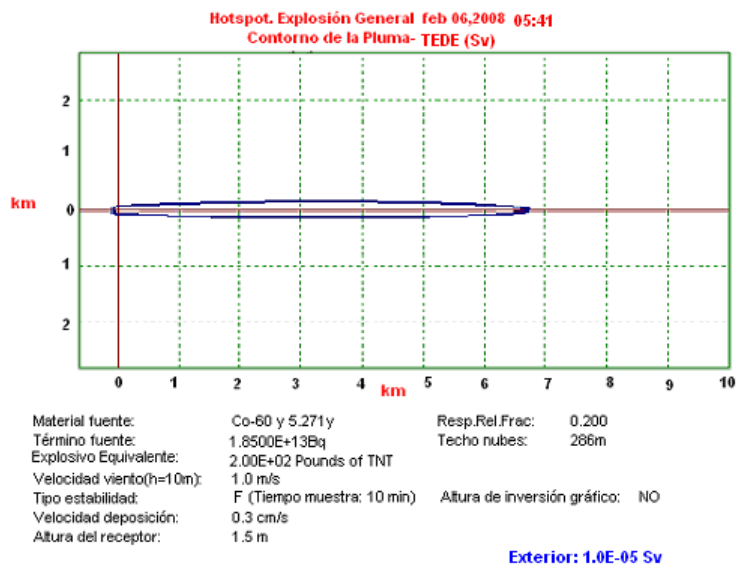
```
Source Term           : 1,8500E+13 Bq
Airborne Fraction     : 1,000
Respirable Fraction   : 0,200
Respirable Release Fraction: 0,200
Wind Speed (h=10 m)  : 24,0 m/s
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
High Explosive        : 200,00 Pounds of TNT
Debris Cloud Top     : 286 m

UNMITIGATED BLAST DAMAGE
IABTI safe distance   : 521 m (1710 ft)
Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 25 m - 40 m (84 ft - 133 ft)
Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 18 m - 27 m (58 ft - 88 ft)
Onset of lethality (25 psi) : 11 m - 18 m (37 ft - 58 ft)
Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range
      corresponds to reflected overpressure generated using
      Sandia National Laboratories BLAST model.

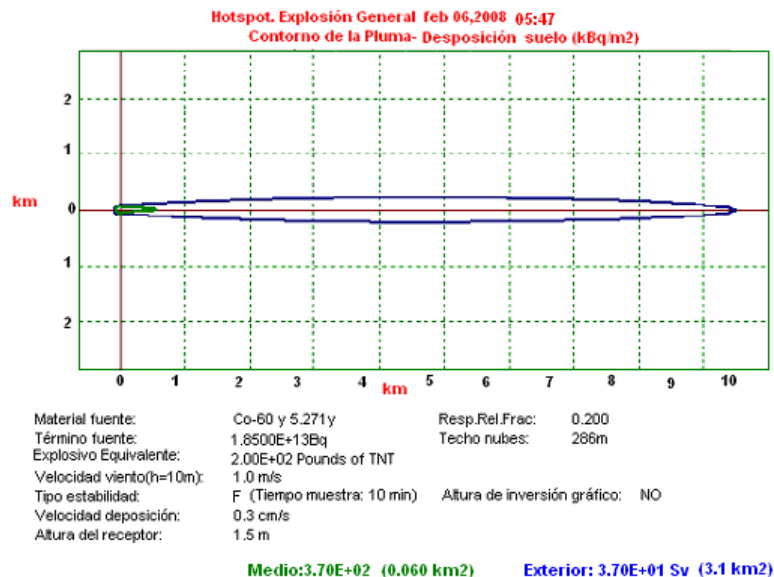
Stability Class       : F
Respirable Dep. vel.  : 3,00 cm/s
Non-respirable Dep. vel. : 8,00 cm/s
Receptor Height       : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time           : 10,000 min
Breathing Rate        : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes         : Inhalation dose + submersion
Maximum Dose Distance : 0,010 km
Maximum TEDE          : 8,60E-05 Sv
Inner Contour Dose    : 1,00E-03 Sv
Middle Contour Dose   : 1,00E-04 Sv
Outer Contour Dose    : 1,00E-05 Sv
Exceeds Inner Dose Out To : Not Exceeded
Exceeds Middle Dose Out To : Not Exceeded
Exceeds Outer Dose Out To : 3,37 km
```

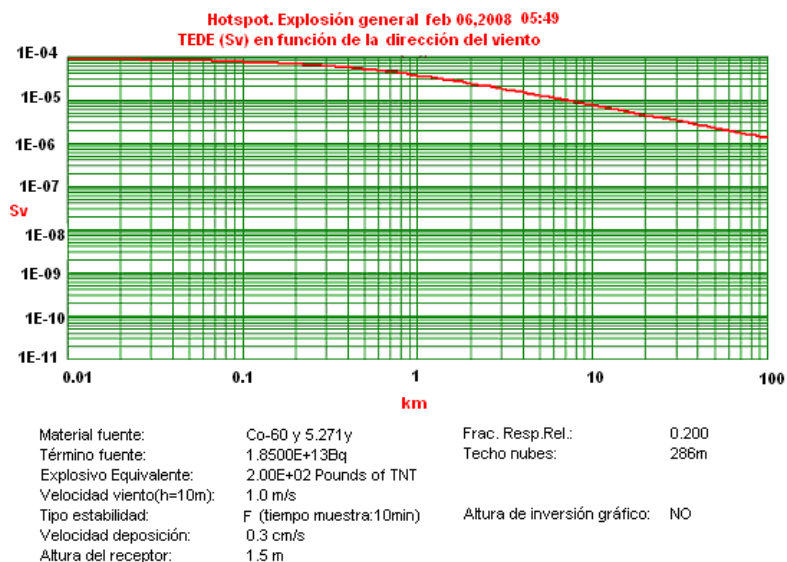
### 4.1.6.3. Isoexposición (TEDE en Sv)



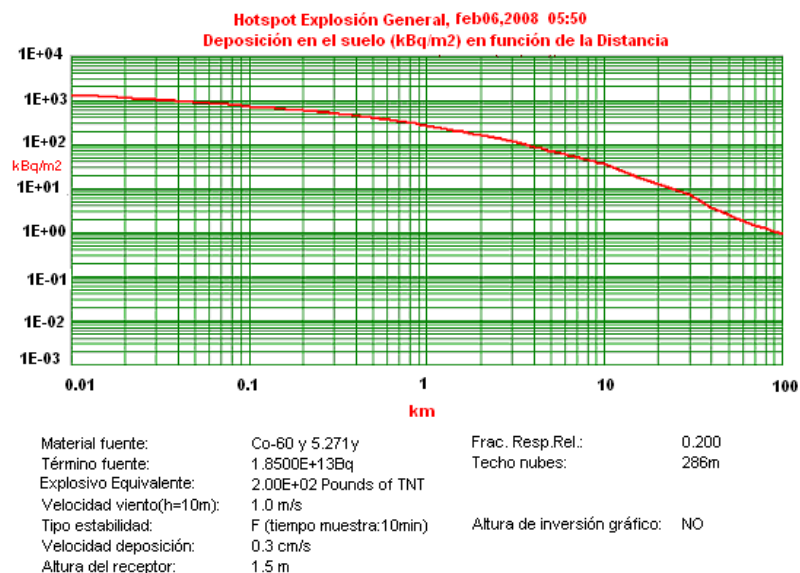
### 4.1.6.4. Distribuciones de la contaminación superficial



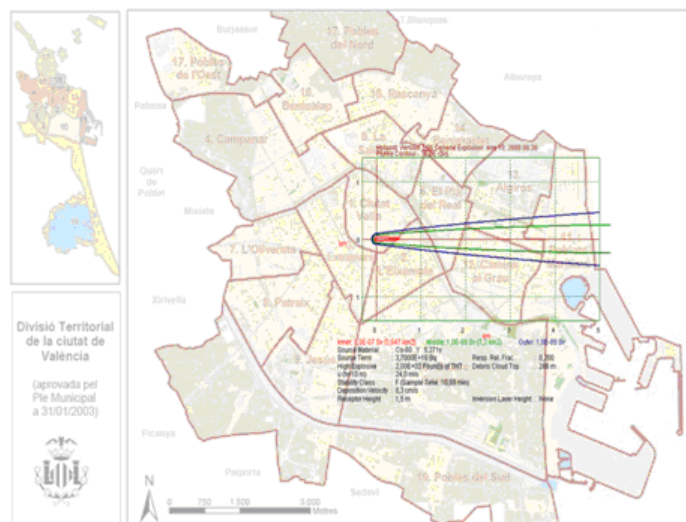
4.1.6.5. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv



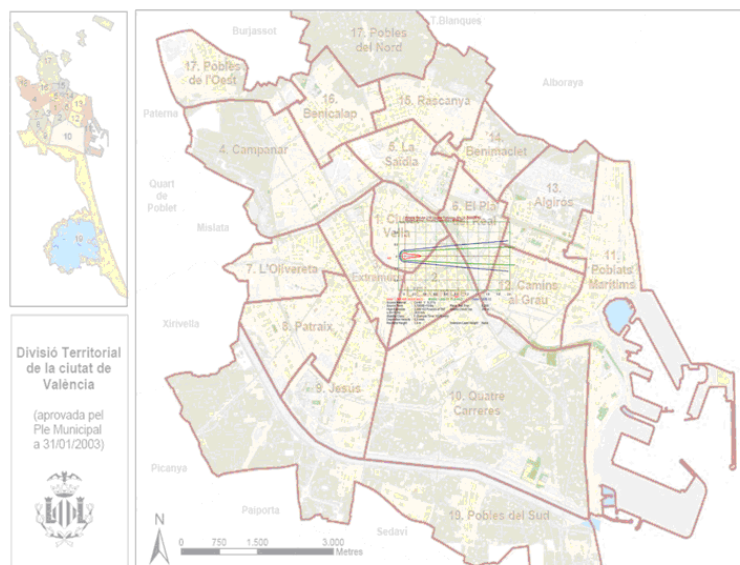
4.1.6.6. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)



#### 4.1.6.7. Pluma exposición TEDE sobre Valencia



#### 4.1.6.8. Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia





#### 4.1.7. Escenario VII

##### 4.1.7.1. Selección de datos termino fuente (gran magnitud)

Estimaciones referentes a una explosión de gran magnitud, 15000 Ci de Co60 y 500 Kg. de TNT (resto de parámetros como el escenario I), supuesto muy improbable por su difícil ocultamiento radiológico. Aún así las máximas dosis previsibles serían de 22 mSv en un radio de 10 mts. alrededor del punto de la explosión, lo mas probable para las personas expuestas a estas distancias, sería el fallecimiento de las mismas a consecuencia de los efectos de la explosión, por lo que no tendría sentido hablar de los efectos radiológicos de la exposición que han sufrido.

##### Término fuente

*Modelo:* Explosión General  
*Radionucleido:* Co-60 y 5.271 años  
*Actividad:* 1.500E+04 Ci  
*Velocidad de Deposición:* 0.30 cm/seg  
*Fracción Aerotransportada:* 1.00E+00  
*Fracción Respirable:* 2.00E-01  
*Explosión Equivalente TNT:* 1.00E+03 libras

##### 4.1.7.2. Datos metereológicos

##### Datos metereológicos

*Velocidad del viento a 10m:* 1.0m/s  
*Tipo de Estabilidad:* F (Moderadamente Estable)  
*Dirección del viento:* 270°

##### 4.1.7.3. Datos de cálculo

##### Datos de Cálculo:

*Terreno:* Estándar  
*Geometría de la fuente:* simple  
*Altura del viento:* 10 m  
*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)  
*Tiempo de prueba:* 10min  
*Incluido 4 días de irradiación del suelo:* :NO  
*Lluvia:* NO  
*Tasa de respiración:* 3.33E-04 m3/seg  
*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg  
*Altitud de la fuente:* 0m

#### 4.1.7.4. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos mas significativos

```

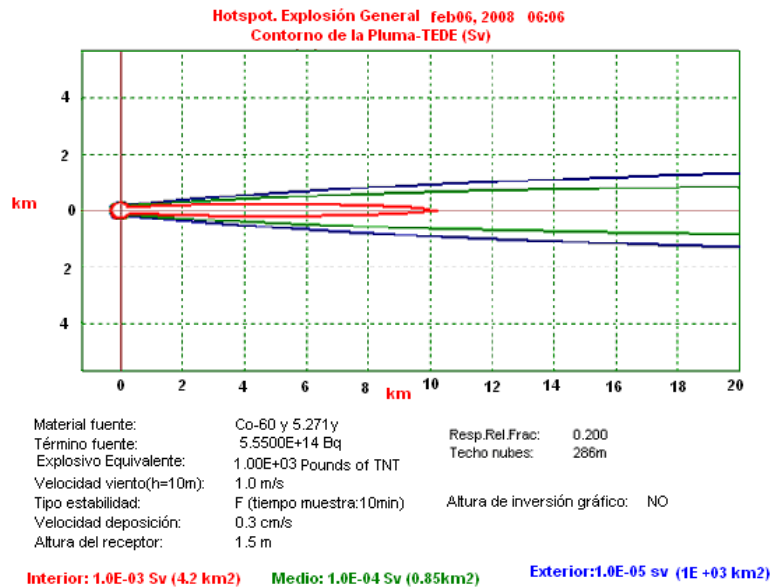
Source Material      : Co-60 Y 5.271y
Source Term         : 5.5500E+14 Bq
Airborne Fraction   : 1,000
Respirable Fraction : 0,200
Respirable Release Fraction: 0,200
Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s
Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline
High Explosive      : 1,00E+03 Pounds of TNT
Debris Cloud Top    : 427 m

UNMITIGATED BLAST DAMAGE
IABTI safe distance : 891 m (2924 ft)
Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 44 m - 69 m (143 ft - 227 ft)
Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 30 m - 46 m (98 ft - 150 ft)
Onset of lethality (25 psi) : 19 m - 30 m (64 ft - 99 ft)
Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range
      corresponds to reflected overpressure generated using
      Sandia National Laboratories BLAST model.

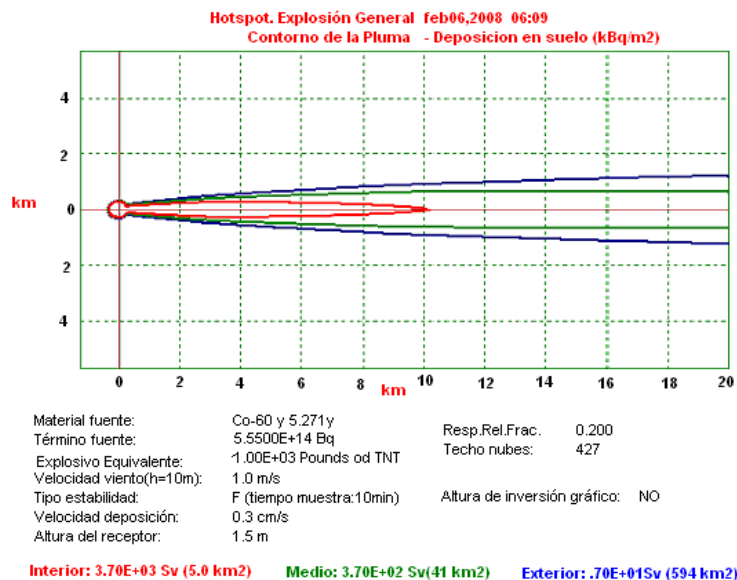
Stability Class     : F
Respirable Dep. Vel. : 3,00 cm/s
Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s
Receptor Height     : 1,5 m
Inversion Layer Height : None
Sample Time         : 10,000 min
Breathing Rate      : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes       : Inhalation dose + submersion
Maximum Dose Distance : 0,010 km
Maximum TEDE        : 0,022 Sv
Inner Contour Dose  : 1,00E-03 Sv
Middle Contour Dose : 1,00E-04 Sv
Outer Contour Dose  : 1,00E-05 Sv
    
```

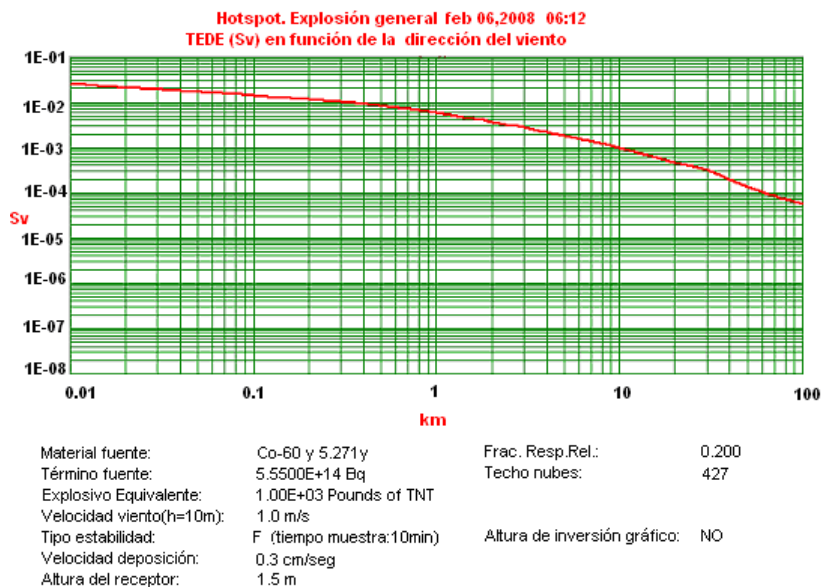
#### 4.1.7.5. Isoexposición (TEDE en Sv)



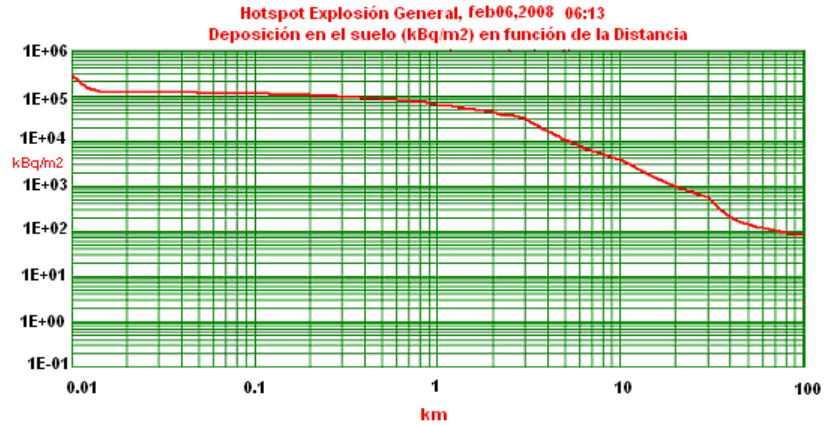
#### 4.1.7.6. Distribuciones de la contaminación superficial



#### 4.1.7.7. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv

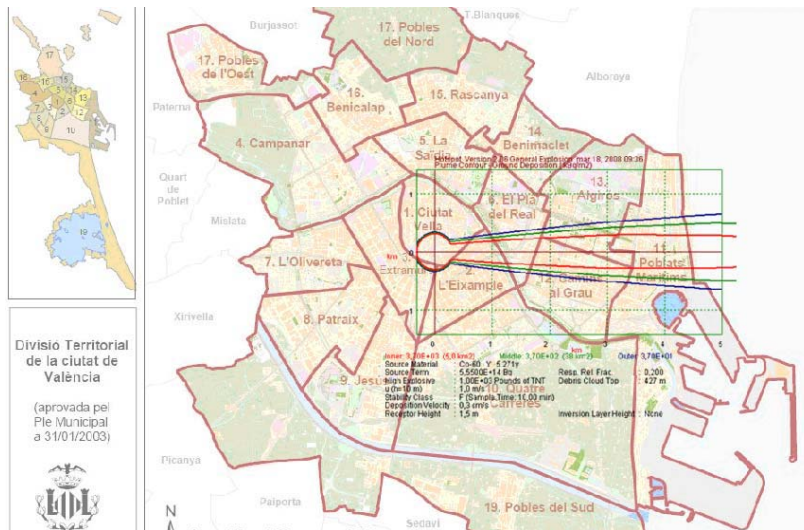


**4.1.7.8. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)**

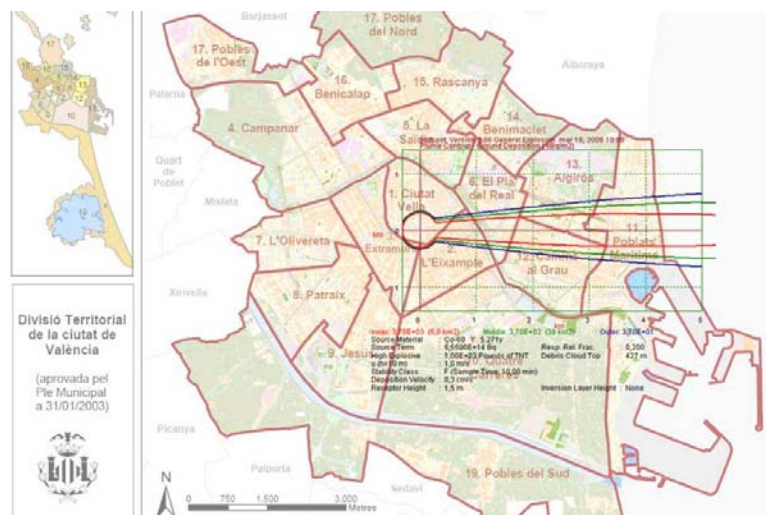


Material fuente:	Co-60 v 5.271 v	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	5.5500E+14 Bq	Techo nubes:	427 m
Gran explosión:	1.00E+03 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

**4.1.7.9. Pluma exposición TEDE sobre Valencia**



#### 4.1.7.10 Distribuciones de la contaminación superficial sobre Valencia



#### 4.1.7.11. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión

A continuación se expone el cálculo del riesgo de exceso en inducción de cánceres en la población expuesta a lo largo de su vida, para el caso extremo de la bomba sucia con 15000 Ci y un explosivo de 500 Kg.

*Dosis de exposición:* 22mSv  
*Tipo exposición:* única y continua  
*Exceso de riesgo de cáncer:* 50 años  
*Factor de riesgo:* población ERR% 0,704

#### 4.1.8. Escenario VIII

##### 4.1.8.1. Selección de datos termino fuente

###### Término fuente

*Modelo:* Explosión General  
*Radionucleido:* Co-60 y 5.271 años  
*Actividad:* 1.85E+13Bq  
*Velocidad de Deposición:* 0.30 cm/seg  
*Fracción Aerotransportada:* 1.00E+00  
*Fracción Respirable:* 2.00E-01  
*Explosión Equivalente TNT:* 2.00E+02 libras

##### 4.1.8.2. Datos meteorológicos

###### Datos metereológicos

*Velocidad del viento a 10m:* 1.0m/s  
*Tipo de Estabilidad:* F (Moderadamente Estable)  
*Dirección del viento:* 270°

##### 4.1.8.3. Datos de cálculo

###### Datos de Cálculo:

*Terreno:* Estándar  
*Geometría de la fuente:* simple  
*Altura del viento:* 10 m  
*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)  
*Tiempo de prueba:* 10min  
*Incluido 4 días de irradiación del suelo:* SI  
*Lluvia:* SI *Coficiente:* 1.00E-03 1/seg  
*Tasa de respiración:* 3.33E-04 m3/seg  
*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg  
*Altitud de la fuente:* 0m

**4.1.8.4. Resumen de los datos suministrados al sistema y los cálculos más significativos**

Source Material : Co-60 Y 5.271y  
 Source Term : 1,8500E+13 Bq  
 Airborne Fraction : 1,000  
 Respirable Fraction : 0,200  
 Respirable Release Fraction: 0,200  
 Wind Speed (h=10 m) : 1,0 m/s  
 Distance Coordinates : All distances are on the Plume Centerline  
 High Explosive : 200,00 Pounds of TNT  
 Debris Cloud Top : 286 m

**UNMITIGATED BLAST DAMAGE**

IABTI safe distance : 521 m (1710 ft)  
 Eardrum ruptures and incapacitation ( 5 psi) : 25 m - 40 m (84 ft - 133 ft)  
 Lung damage and complete incapacitation (10 psi) : 18 m - 27 m (58 ft - 88 ft)  
 Onset of lethality (25 psi) : 11 m - 18 m (37 ft - 58 ft)  
 Note: minimum range corresponds to side-on pressure and maximum range corresponds to reflected overpressure generated using Sandia National Laboratories BLAST model.

Stability Class : F  
 Respirable Dep. Vel. : 0,30 cm/s  
 Non-respirable Dep. Vel. : 8,00 cm/s  
 Receptor Height : 1,5 m  
 Inversion Layer Height : None  
 Sample Time : 10,000 min  
 Washout Coefficient : 1,00E-03 1/s  
 Breathing Rate : 3,33E-04 m3/sec

TEDE includes : Inhalation dose + Submersion  
 Maximum Dose Distance : 0,010 km  
 Maximum TEDE : 0,159 Sv  
 Inner Contour Dose : 0,010 Sv  
 Middle Contour Dose : 1,00E-03 Sv  
 Outer Contour Dose : 1,00E-04 Sv  
 Exceeds Inner Dose Out To : 1,73 km  
 Exceeds Middle Dose Out To : 6,57 km  
 Exceeds Outer Dose Out To : 14,13 km

DISTANCE	TEDE	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	DEPOSITION (kBq/m2)	DOSE RATE (Sv/hr)	TIME (hour:min)

0,030	1,1E-01	7,3E+07	1,4E+05	1,1E-03	00:01
-------	---------	---------	---------	---------	-------

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,030 km

Skin.....	[1,3E-01]	Lung.....	[1,1E-01]	Thyroid.....	[1,1E-01]
Surface Bone.	[1,5E-01]	Red Marrow...	[1,1E-01]	Liver.....	[1,0E-01]
Spleen.....	[1,0E-01]	Ovaries.....	[2,0E-01]	Adrenals.....	[9,6E-02]
Breast.....	[1,1E-01]	Stomach Wall.	[1,0E-01]	SI Wall.....	[1,0E-01]
ULI Wall.....	[1,0E-01]	LLI Wall.....	[1,1E-01]	Bladder Wall.	[1,0E-01]
Thymus.....	[1,0E-01]	Esophagus....	[9,4E-02]	Muscle.....	[1,1E-01]
Kidneys.....	[1,0E-01]	Testes.....	[1,1E-01]	Uterus.....	[1,0E-01]
Pancreas.....	[9,7E-02]	Brain.....	[1,0E-01]		

-----

Cap.IV:Resultados

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	DEPOSITION (kBq/m2)	DOSE RATE (Sv/hr)	TIME (hour:min)

Inhalation : 1,44E-03    Submersion : 2,55E-05    Ground Shine: 1,10E-01

0,100    7,6E-02    5,0E+07    9,2E+04    7,8E-04    00:04

-----  
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,100 km

Skin.....	[8,8E-02]	Lung.....	[7,8E-02]	Thyroid.....	[7,2E-02]
Surface Bone.	[1,0E-01]	Red Marrow...	[7,5E-02]	Liver.....	[7,1E-02]
Spleen.....	[7,0E-02]	Ovaries.....	[1,4E-01]	Adrenals.....	[6,6E-02]
Breast.....	[7,5E-02]	Stomach Wall.	[7,0E-02]	SI Wall.....	[6,9E-02]
ULI Wall.....	[7,0E-02]	LLI Wall.....	[7,2E-02]	Bladder Wall.	[7,1E-02]
Thymus.....	[6,8E-02]	Esophagus....	[6,4E-02]	Muscle.....	[7,9E-02]
Kidneys.....	[7,1E-02]	Testes.....	[7,8E-02]	Uterus.....	[6,8E-02]
Pancreas....	[6,6E-02]	Brain.....	[6,9E-02]		

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	DEPOSITION (kBq/m2)	DOSE RATE (Sv/hr)	TIME (hour:min)

Inhalation : 9,76E-04  
Submersion : 2,08E-05  
Ground Shine: 7,51E-02

0,200    5,6E-02    3,6E+07    6,9E+04    5,8E-04    00:08

-----  
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,200 km

Skin.....	[6,6E-02]	Lung.....	[5,8E-02]	Thyroid.....	[5,4E-02]
Surface Bone.	[7,4E-02]	Red Marrow...	[5,5E-02]	Liver.....	[5,2E-02]
Spleen.....	[5,2E-02]	Ovaries.....	[1,0E-01]	Adrenals.....	[4,9E-02]
Breast.....	[5,6E-02]	Stomach Wall.	[5,2E-02]	SI Wall.....	[5,2E-02]
ULI Wall.....	[5,2E-02]	LLI Wall.....	[5,3E-02]	Bladder Wall.	[5,3E-02]
Thymus.....	[5,0E-02]	Esophagus....	[4,8E-02]	Muscle.....	[5,8E-02]
Kidneys.....	[5,3E-02]	Testes.....	[5,8E-02]	Uterus.....	[5,1E-02]
Pancreas....	[4,9E-02]	Brain.....	[5,1E-02]		

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION (Bq-sec)/m3	DEPOSITION (kBq/m2)	DOSE RATE (Sv/hr)	TIME (hour:min)

Inhalation : 7,16E-04  
Submersion : 1,72E-05  
Ground Shine: 5,57E-02

0,300    4,5E-02    2,9E+07    5,5E+04    4,7E-04    00:12

-----  
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,300 km

Skin.....	[5,3E-02]	Lung.....	[4,7E-02]	Thyroid.....	[4,3E-02]
Surface Bone.	[5,9E-02]	Red Marrow...	[4,5E-02]	Liver.....	[4,2E-02]
Spleen.....	[4,2E-02]	Ovaries.....	[8,1E-02]	Adrenals.....	[3,9E-02]
Breast.....	[4,5E-02]	Stomach Wall.	[4,2E-02]	SI Wall.....	[4,1E-02]
ULI Wall.....	[4,2E-02]	LLI Wall.....	[4,3E-02]	Bladder Wall.	[4,2E-02]
Thymus.....	[4,1E-02]	Esophagus....	[3,8E-02]	Muscle.....	[4,7E-02]



Cap.IV:Resultados

Kidneys..... [4,2E-02] Testes..... [4,7E-02] Uterus..... [4,1E-02]  
 Pancreas..... [3,9E-02] Brain..... [4,1E-02]

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
		(Bq-sec)/m3	(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

Inhalation : 5,69E-04  
 Submersion : 1,47E-05  
 Ground Shine: 4,47E-02

0,400	3,8E-02	2,4E+07	4,6E+04	3,9E-04	00:16
-------	---------	---------	---------	---------	-------

Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,400 km

Skin.....	[4,4E-02]	Lung.....	[3,9E-02]	Thyroid.....	[3,6E-02]
Surface Bone.	[4,9E-02]	Red Marrow...	[3,7E-02]	Liver.....	[3,5E-02]
Spleen.....	[3,5E-02]	Ovaries.....	[6,7E-02]	Adrenals.....	[3,3E-02]
Breast.....	[3,7E-02]	Stomach Wall.	[3,5E-02]	SI Wall.....	[3,4E-02]
ULI Wall.....	[3,5E-02]	LLI Wall.....	[3,6E-02]	Bladder Wall.	[3,5E-02]
Thymus.....	[3,4E-02]	Esophagus....	[3,2E-02]	Muscle.....	[3,9E-02]
Kidneys.....	[3,5E-02]	Testes.....	[3,9E-02]	Uterus.....	[3,4E-02]
Pancreas.....	[3,3E-02]	Brain.....	[3,4E-02]		

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
		(Bq-sec)/m3	(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

Inhalation : 4,69E-04  
 Submersion : 1,28E-05  
 Ground Shine: 3,72E-02

0,500	3,2E-02	2,0E+07	3,9E+04	3,3E-04	00:20
-------	---------	---------	---------	---------	-------

Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,500 km

Skin.....	[3,7E-02]	Lung.....	[3,3E-02]	Thyroid.....	[3,1E-02]
Surface Bone.	[4,2E-02]	Red Marrow...	[3,2E-02]	Liver.....	[3,0E-02]
Spleen.....	[3,0E-02]	Ovaries.....	[5,7E-02]	Adrenals.....	[2,8E-02]
Breast.....	[3,2E-02]	Stomach Wall.	[3,0E-02]	SI Wall.....	[2,9E-02]
ULI Wall.....	[3,0E-02]	LLI Wall.....	[3,1E-02]	Bladder Wall.	[3,0E-02]
Thymus.....	[2,9E-02]	Esophagus....	[2,7E-02]	Muscle.....	[3,3E-02]
Kidneys.....	[3,0E-02]	Testes.....	[3,3E-02]	Uterus.....	[2,9E-02]
Pancreas.....	[2,8E-02]	Brain.....	[2,9E-02]		

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	AIR CONCENTRATION	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
		(Bq-sec)/m3	(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

Inhalation : 3,98E-04  
 Submersion : 1,13E-05  
 Ground Shine: 3,18E-02

0,600 2,8E-02 1,7E+07 3,4E+04 2,9E-04 00:24

-----  
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,600 km

Skin.....	[3,3E-02]	Lung.....	[2,9E-02]	Thyroid.....	[2,7E-02]
Surface Bone.	[3,7E-02]	Red Marrow...	[2,8E-02]	Liver.....	[2,6E-02]
Spleen.....	[2,6E-02]	Ovaries.....	[5,0E-02]	Adrenals.....	[2,4E-02]
Breast.....	[2,8E-02]	Stomach Wall.	[2,6E-02]	SI Wall.....	[2,6E-02]
ULI Wall....	[2,6E-02]	LLI Wall....	[2,7E-02]	Bladder Wall.	[2,6E-02]
Thymus.....	[2,5E-02]	Esophagus....	[2,4E-02]	Muscle.....	[2,9E-02]
Kidneys.....	[2,6E-02]	Testes.....	[2,9E-02]	Uterus.....	[2,5E-02]
Pancreas....	[2,4E-02]	Brain.....	[2,6E-02]		

-----  
DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

Inhalation : 3,44E-04  
Submersion : 1,00E-05  
Ground Shine: 2,78E-02

0,700 2,5E-02 1,5E+07 3,0E+04 2,6E-04 00:28

-----  
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,700 km

Skin.....	[2,9E-02]	Lung.....	[2,5E-02]	Thyroid.....	[2,4E-02]
Surface Bone.	[3,3E-02]	Red Marrow...	[2,4E-02]	Liver.....	[2,3E-02]
Spleen.....	[2,3E-02]	Ovaries.....	[4,4E-02]	Adrenals.....	[2,1E-02]
Breast.....	[2,5E-02]	Stomach Wall.	[2,3E-02]	SI Wall.....	[2,3E-02]
ULI Wall....	[2,3E-02]	LLI Wall....	[2,4E-02]	Bladder Wall.	[2,3E-02]
Thymus.....	[2,2E-02]	Esophagus....	[2,1E-02]	Muscle.....	[2,6E-02]
Kidneys.....	[2,3E-02]	Testes.....	[2,6E-02]	Uterus.....	[2,2E-02]
Pancreas....	[2,2E-02]	Brain.....	[2,3E-02]		

-----  
DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

Inhalation : 3,02E-04  
Submersion : 8,98E-06  
Ground Shine: 2,46E-02

0,800 2,2E-02 1,4E+07 2,7E+04 2,3E-04 00:32

-----  
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,800 km

Skin.....	[2,6E-02]	Lung.....	[2,3E-02]	Thyroid.....	[2,1E-02]
Surface Bone.	[2,9E-02]	Red Marrow...	[2,2E-02]	Liver.....	[2,1E-02]
Spleen.....	[2,1E-02]	Ovaries.....	[4,0E-02]	Adrenals.....	[1,9E-02]
Breast.....	[2,2E-02]	Stomach Wall.	[2,1E-02]	SI Wall.....	[2,0E-02]
ULI Wall....	[2,0E-02]	LLI Wall....	[2,1E-02]	Bladder Wall.	[2,1E-02]
Thymus.....	[2,0E-02]	Esophagus....	[1,9E-02]	Muscle.....	[2,3E-02]
Kidneys.....	[2,1E-02]	Testes.....	[2,3E-02]	Uterus.....	[2,0E-02]
Pancreas....	[1,9E-02]	Brain.....	[2,0E-02]		

-----  
DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

Inhalation : 2,68E-04  
 Submersion : 8,10E-06  
 Ground Shine: 2,20E-02

0,900 2,0E-02 1,2E+07 2,4E+04 2,1E-04 00:36

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 0,900 km

Skin.....	[2,3E-02]	Lung.....	[2,1E-02]	Thyroid.....	[1,9E-02]
Surface Bone.	[2,6E-02]	Red Marrow...	[2,0E-02]	Liver.....	[1,9E-02]
Spleen.....	[1,9E-02]	Ovaries.....	[3,6E-02]	Adrenals.....	[1,7E-02]
Breast.....	[2,0E-02]	Stomach Wall.	[1,9E-02]	SI Wall.....	[1,8E-02]
ULI Wall.....	[1,8E-02]	LLI Wall.....	[1,9E-02]	Bladder Wall.	[1,9E-02]
Thymus.....	[1,8E-02]	Esophagus....	[1,7E-02]	Muscle.....	[2,1E-02]
Kidneys.....	[1,9E-02]	Testes.....	[2,1E-02]	Uterus.....	[1,8E-02]
Pancreas....	[1,7E-02]	Brain.....	[1,8E-02]		

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
			(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

Inhalation : 2,40E-04  
 Submersion : 7,35E-06  
 Ground Shine: 1,98E-02

1,000 1,8E-02 1,1E+07 2,2E+04 1,9E-04 00:40

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 1,000 km

Skin.....	[2,1E-02]	Lung.....	[1,9E-02]	Thyroid.....	[1,7E-02]
Surface Bone.	[2,4E-02]	Red Marrow...	[1,8E-02]	Liver.....	[1,7E-02]
Spleen.....	[1,7E-02]	Ovaries.....	[3,3E-02]	Adrenals.....	[1,6E-02]
Breast.....	[1,8E-02]	Stomach Wall.	[1,7E-02]	SI Wall.....	[1,7E-02]
ULI Wall.....	[1,7E-02]	LLI Wall.....	[1,7E-02]	Bladder Wall.	[1,7E-02]
Thymus.....	[1,6E-02]	Esophagus....	[1,5E-02]	Muscle.....	[1,9E-02]
Kidneys.....	[1,7E-02]	Testes.....	[1,9E-02]	Uterus.....	[1,6E-02]
Pancreas....	[1,6E-02]	Brain.....	[1,7E-02]		

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
			(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

Inhalation : 2,17E-04  
 Submersion : 6,70E-06  
 Ground Shine: 1,80E-02

2,000 8,4E-03 4,9E+06 1,0E+04 8,7E-05 01:20

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 2,000 km

Skin.....	[9,8E-03]	Lung.....	[8,6E-03]	Thyroid.....	[8,0E-03]
Surface Bone.	[1,1E-02]	Red Marrow...	[8,3E-03]	Liver.....	[7,8E-03]
Spleen.....	[7,8E-03]	Ovaries.....	[1,5E-02]	Adrenals.....	[7,3E-03]
Breast.....	[8,3E-03]	Stomach Wall.	[7,8E-03]	SI Wall.....	[7,7E-03]
ULI Wall.....	[7,7E-03]	LLI Wall.....	[8,0E-03]	Bladder Wall.	[7,9E-03]
Thymus.....	[7,5E-03]	Esophagus....	[7,1E-03]	Muscle.....	[8,7E-03]
Kidneys.....	[7,9E-03]	Testes.....	[8,7E-03]	Uterus.....	[7,5E-03]
Pancreas....	[7,3E-03]	Brain.....	[7,6E-03]		

---

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
			(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

---

Inhalation : 9,57E-05  
 Submersion : 2,47E-06  
 Ground Shine: 8,32E-03

4,000	2,8E-03	1,4E+06	3,4E+03	2,9E-05	02:41
-------	---------	---------	---------	---------	-------

Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 4,000 km

Skin.....	[3,3E-03]	Lung.....	[2,8E-03]	Thyroid.....	[2,7E-03]
Surface Bone.	[3,7E-03]	Red Marrow...	[2,8E-03]	Liver.....	[2,6E-03]
Spleen.....	[2,6E-03]	Ovaries.....	[5,0E-03]	Adrenals.....	[2,4E-03]
Breast.....	[2,8E-03]	Stomach Wall.	[2,6E-03]	SI Wall.....	[2,6E-03]
ULI Wall....	[2,6E-03]	LLI Wall.....	[2,7E-03]	Bladder Wall.	[2,6E-03]
Thymus.....	[2,5E-03]	Esophagus....	[2,4E-03]	Muscle.....	[2,9E-03]
Kidneys.....	[2,6E-03]	Testes.....	[2,9E-03]	Uterus.....	[2,5E-03]
Pancreas....	[2,4E-03]	Brain.....	[2,5E-03]		

---

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
			(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

---

Inhalation : 2,78E-05  
 Submersion : 4,23E-07  
 Ground Shine: 2,77E-03

6,000	1,2E-03	5,0E+05	1,5E+03	1,3E-05	04:02
-------	---------	---------	---------	---------	-------

Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 6,000 km

Skin.....	[1,4E-03]	Lung.....	[1,2E-03]	Thyroid.....	[1,2E-03]
Surface Bone.	[1,6E-03]	Red Marrow...	[1,2E-03]	Liver.....	[1,1E-03]
Spleen.....	[1,1E-03]	Ovaries.....	[2,2E-03]	Adrenals.....	[1,1E-03]
Breast.....	[1,2E-03]	Stomach Wall.	[1,1E-03]	SI Wall.....	[1,1E-03]
ULI Wall....	[1,1E-03]	LLI Wall.....	[1,2E-03]	Bladder Wall.	[1,2E-03]
Thymus.....	[1,1E-03]	Esophagus....	[1,0E-03]	Muscle.....	[1,3E-03]
Kidneys.....	[1,2E-03]	Testes.....	[1,3E-03]	Uterus.....	[1,1E-03]
Pancreas....	[1,1E-03]	Brain.....	[1,1E-03]		

---

DISTANCE	T E D E	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
			(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)

---

Inhalation : 9,90E-06  
 Submersion : 1,45E-07  
 Ground Shine: 1,23E-03

8,000	6,2E-04	2,0E+05	7,6E+02	6,4E-06	05:23
-------	---------	---------	---------	---------	-------

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 8,000 km

Skin.....	[7,2E-04]	Lung.....	[6,2E-04]	Thyroid.....	[5,9E-04]
Surface Bone.	[8,1E-04]	Red Marrow...	[6,1E-04]	Liver.....	[5,8E-04]
Spleen.....	[5,8E-04]	Ovaries.....	[1,1E-03]	Adrenals.....	[5,4E-04]
Breast.....	[6,1E-04]	Stomach Wall.	[5,7E-04]	SI Wall.....	[5,7E-04]
ULI Wall.....	[5,7E-04]	LLI Wall.....	[5,9E-04]	Bladder Wall.	[5,8E-04]
Thymus.....	[5,5E-04]	Esophagus....	[5,2E-04]	Muscle.....	[6,4E-04]
Kidneys.....	[5,8E-04]	Testes.....	[6,4E-04]	Uterus.....	[5,6E-04]
Pancreas.....	[5,4E-04]	Brain.....	[5,7E-04]		

-----  
 DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
 AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
 km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

-----  
 Inhalation : 4,02E-06  
 Submersion : 6,16E-08  
 Ground Shine: 6,15E-04

10,000 3,3E-04 9,0E+04 4,1E+02 3,5E-06 06:43

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 10,000 km

Skin.....	[3,9E-04]	Lung.....	[3,3E-04]	Thyroid.....	[3,2E-04]
Surface Bone.	[4,4E-04]	Red Marrow...	[3,3E-04]	Liver.....	[3,1E-04]
Spleen.....	[3,1E-04]	Ovaries.....	[6,0E-04]	Adrenals.....	[2,9E-04]
Breast.....	[3,3E-04]	Stomach Wall.	[3,1E-04]	SI Wall.....	[3,1E-04]
ULI Wall.....	[3,1E-04]	LLI Wall.....	[3,2E-04]	Bladder Wall.	[3,1E-04]
Thymus.....	[3,0E-04]	Esophagus....	[2,8E-04]	Muscle.....	[3,5E-04]
Kidneys.....	[3,1E-04]	Testes.....	[3,5E-04]	Uterus.....	[3,0E-04]
Pancreas.....	[2,9E-04]	Brain.....	[3,0E-04]		

-----  
 DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
 AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
 km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

-----  
 Inhalation : 1,78E-06  
 Submersion : 2,85E-08  
 Ground Shine: 3,31E-04

20,000 2,4E-05 2,6E+03 2,9E+01 2,5E-07 13:27

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 20,000 km

Skin.....	[2,8E-05]	Lung.....	[2,3E-05]	Thyroid.....	[2,3E-05]
Surface Bone.	[3,1E-05]	Red Marrow...	[2,4E-05]	Liver.....	[2,2E-05]
Spleen.....	[2,2E-05]	Ovaries.....	[4,3E-05]	Adrenals.....	[2,1E-05]
Breast.....	[2,4E-05]	Stomach Wall.	[2,2E-05]	SI Wall.....	[2,2E-05]
ULI Wall.....	[2,2E-05]	LLI Wall.....	[2,3E-05]	Bladder Wall.	[2,2E-05]
Thymus.....	[2,1E-05]	Esophagus....	[2,0E-05]	Muscle.....	[2,5E-05]
Kidneys.....	[2,2E-05]	Testes.....	[2,5E-05]	Uterus.....	[2,2E-05]
Pancreas.....	[2,1E-05]	Brain.....	[2,2E-05]		

-----  
 DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
 AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME

Cap.IV:Resultados

---

km	(Sv)	(Bq-sec)/m3	(kBq/m2)	(Sv/hr)	(hour:min)
----	------	-------------	----------	---------	------------

---

Inhalation : 5,11E-08  
 Submersion : 4,75E-10  
 Ground Shine: 2,38E-05

40,000 3,1E-07 9,8E+00 3,8E-01 3,2E-09 >24:00

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 40,000 km

Skin.....	[3,7E-07]	Lung.....	[3,0E-07]	Thyroid.....	[3,0E-07]
Surface Bone.	[4,1E-07]	Red Marrow...	[3,1E-07]	Liver.....	[2,9E-07]
Spleen.....	[2,9E-07]	Ovaries.....	[5,6E-07]	Adrenals.....	[2,7E-07]
Breast.....	[3,1E-07]	Stomach Wall.	[2,9E-07]	SI Wall.....	[2,9E-07]
ULI Wall....	[2,9E-07]	LLI Wall....	[3,0E-07]	Bladder Wall.	[2,9E-07]
Thymus.....	[2,8E-07]	Esophagus....	[2,6E-07]	Muscle.....	[3,2E-07]
Kidneys.....	[2,9E-07]	Testes.....	[3,2E-07]	Uterus.....	[2,8E-07]
Pancreas....	[2,7E-07]	Brain.....	[2,9E-07]		

-----  
 DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
 AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
 km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

---

Inhalation : 1,92E-10  
 Submersion : 1,50E-12  
 Ground Shine: 3,11E-07

60,000 5,9E-09 7,3E-02 7,3E-03 6,2E-11 >24:00

-----  
 Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 60,000 km

Skin.....	[7,0E-09]	Lung.....	[5,7E-09]	Thyroid.....	[5,7E-09]
Surface Bone.	[7,9E-09]	Red Marrow...	[5,9E-09]	Liver.....	[5,5E-09]
Spleen.....	[5,5E-09]	Ovaries.....	[1,1E-08]	Adrenals.....	[5,2E-09]
Breast.....	[5,9E-09]	Stomach Wall.	[5,5E-09]	SI Wall.....	[5,5E-09]
ULI Wall....	[5,5E-09]	LLI Wall....	[5,7E-09]	Bladder Wall.	[5,6E-09]
Thymus.....	[5,3E-09]	Esophagus....	[5,0E-09]	Muscle.....	[6,2E-09]
Kidneys.....	[5,6E-09]	Testes.....	[6,2E-09]	Uterus.....	[5,4E-09]
Pancreas....	[5,2E-09]	Brain.....	[5,5E-09]		

-----  
 DISTANCE T E D E TIME-INTEGRATED GROUND SURFACE GROUND SHINE ARRIVAL  
 AIR CONCENTRATION DEPOSITION DOSE RATE TIME  
 km (Sv) (Bq-sec)/m3 (kBq/m2) (Sv/hr) (hour:min)

---

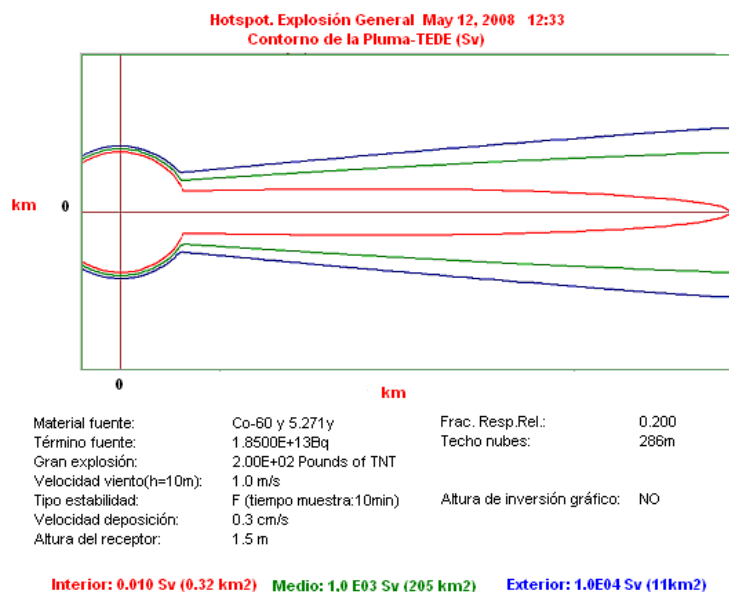
Inhalation : 1,44E-12  
 Submersion : 1,24E-14  
 Ground Shine: 5,94E-09

---

80,000	1,3E-10	8,3E-04	1,6E-04	1,4E-12	>24:00
-----					
Target Organ Committed Dose Equivalent (Sv), at Location 80,000 km					
Skin.....	[1,5E-10]	Lung.....	[1,3E-10]	Thyroid.....	[1,3E-10]
Surface Bone.	[1,7E-10]	Red Marrow...	[1,3E-10]	Liver.....	[1,2E-10]
Spleen.....	[1,2E-10]	Ovaries.....	[2,4E-10]	Adrenals.....	[1,1E-10]
Breast.....	[1,3E-10]	Stomach Wall.	[1,2E-10]	SI Wall.....	[1,2E-10]
ULI Wall.....	[1,2E-10]	LLI Wall.....	[1,3E-10]	Bladder Wall.	[1,2E-10]
Thymus.....	[1,2E-10]	Esophagus....	[1,1E-10]	Muscle.....	[1,4E-10]
Kidneys.....	[1,2E-10]	Testes.....	[1,4E-10]	Uterus.....	[1,2E-10]
Pancreas.....	[1,2E-10]	Brain.....	[1,2E-10]		
-----					
DISTANCE	TEDE	TIME-INTEGRATED	GROUND SURFACE	GROUND SHINE	ARRIVAL
	AIR	CONCENTRATION	DEPOSITION	DOSE RATE	TIME
km	(Sv)	(Bq-sec)/m <sup>3</sup>	(kBq/m <sup>2</sup> )	(Sv/hr)	(hour:min)

Inhalation : 1,64E-14  
 Submersion : 1,77E-16  
 Ground Shine: 1,32E-10

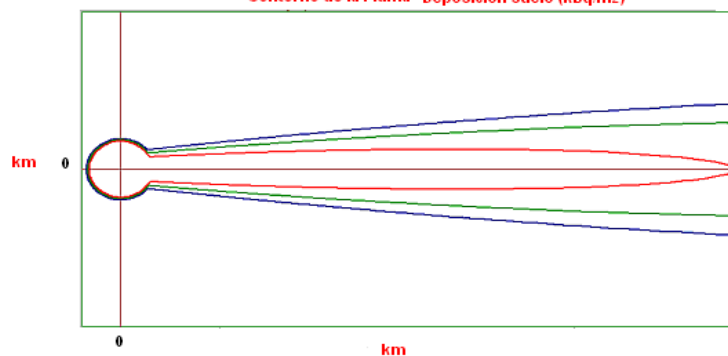
#### 4.1.8.5. Isoexposición (TEDE en Sv)



#### 4.1.8.6. Distribuciones de la contaminación superficial

Hotspot. Explosión General May 12, 2008 12:33

Contorno de la Pluma- Deposición suelo (kBq/m<sup>2</sup>)



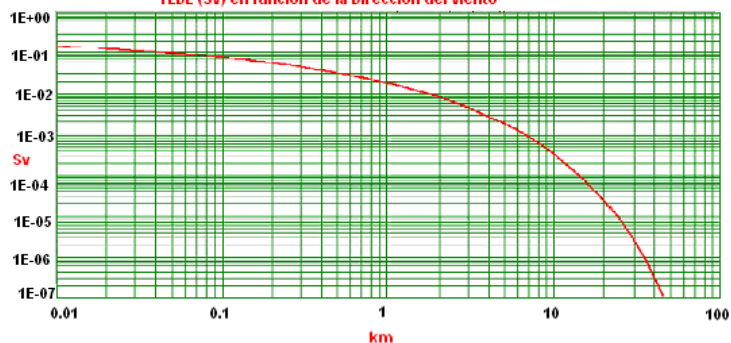
Material fuente:	Co-60 y 5.271y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Gran explosión:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

Interior: 3,70 E03 Sv( 1.0km<sup>2</sup>)    Medio: 3,70 E+02 Sv (5.8 km<sup>2</sup>)    Exterior: 3.70 E+01 Sv (19km<sup>2</sup>)

#### 4.1.8.7. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv

Hotspot Explosión General, may 12,2008 12:36

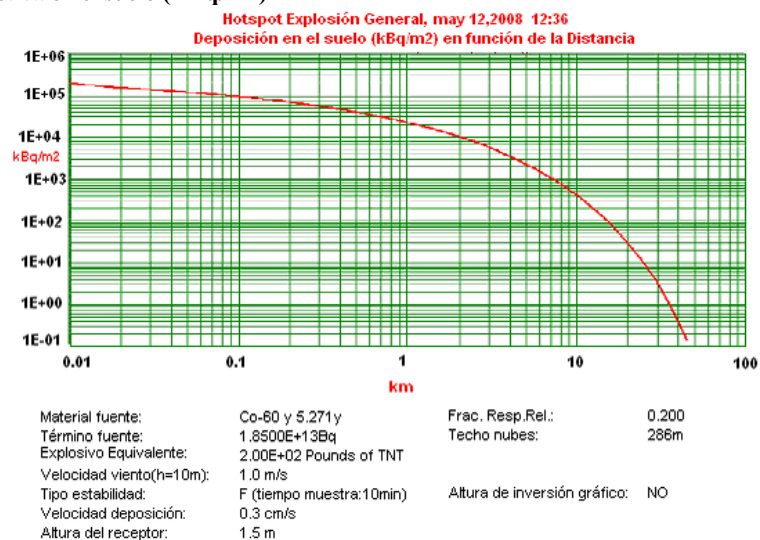
TEDE (Sv) en función de la Dirección del viento



Material fuente:	Co-60 y 5.271y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		



**4.1.8.8. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m<sup>2</sup>)**



**4.1.8.9. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión**

A continuación se expone el cálculo del riesgo de exceso en inducción de cánceres en la población expuesta a lo largo de su vida.

*Dosis de exposición:* 159mSv  
*Tipo exposición:* única y continua  
*Exceso de riesgo de cáncer:* 50 años  
*Factor de riesgo:* población ERR% 5,09

#### 4.1.9. ESCENARIO IX

##### 4.1.9.1. Selección del término fuente

###### Término fuente

*Modelo:* Explosión General

*Radionucleido:* Cs-137

*Actividad:* 5.00E+02 Ci

*Velocidad de Deposición:* 0.30 cm/seg

*Fracción Aerotransportada:* 1.00E+00

*Fracción Respirable:* 2.00E-01

*Explosión Equivalente TNT:* 2.00E+02 libras

##### 4.1.9.2. Datos Meteorológicos

###### Datos metereológicos

*Velocidad del viento a 10m:* 1.0m/s

*Tipo de Estabilidad:* F (Moderadamente Estable)

*Dirección del viento:* 270°

##### 4.1.9.3. Datos de Cálculo

###### Datos de Cálculo:

*Terreno:* Estándar

*Geometría de la fuente:* simple

*Altura del viento:* 10 m

*Unidades radiológicas:* SI(Sievert, Gray, Bq)

*Tiempo de prueba:* 10min

*Incluido 4 días de irradiación del suelo:* SI

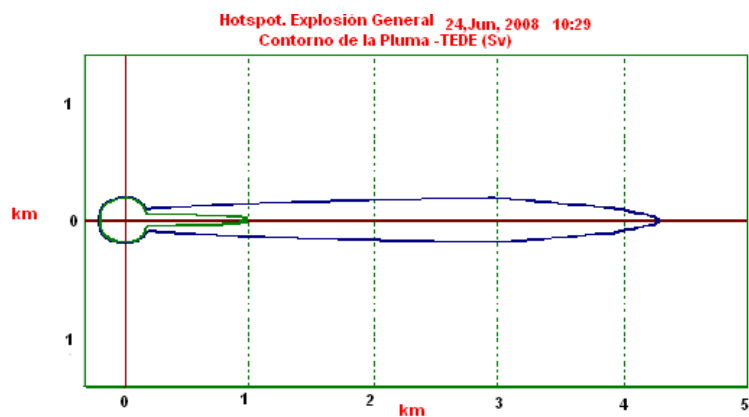
*Lluvia:* No

*Tasa de respiración:* 3.33E-04 m3/seg

*Velocidad de Deposición No-Respirable:* 8 cm/seg

*Altitud de la fuente:* 0m

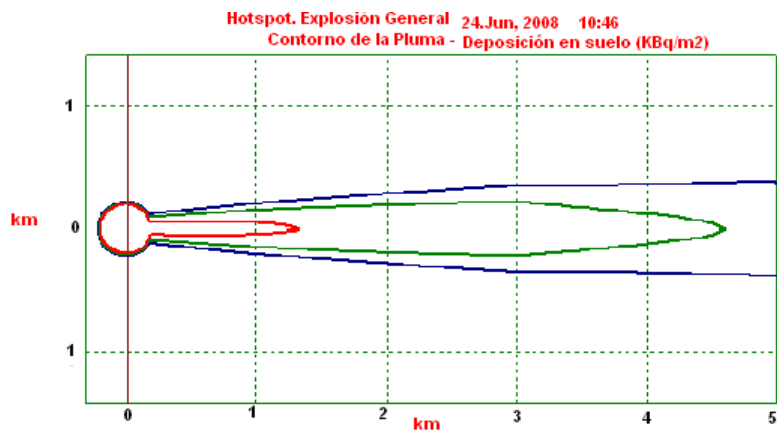
#### 4.1.9.4. Isoexposición (TEDE en Sv)



Material fuente:	Cs-137 D 30 y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

**Medio: 1,0E-03 Sv(0,16 km<sup>2</sup>)      Exterior: 1,0E-04 Sv(1,3 km<sup>2</sup>)**

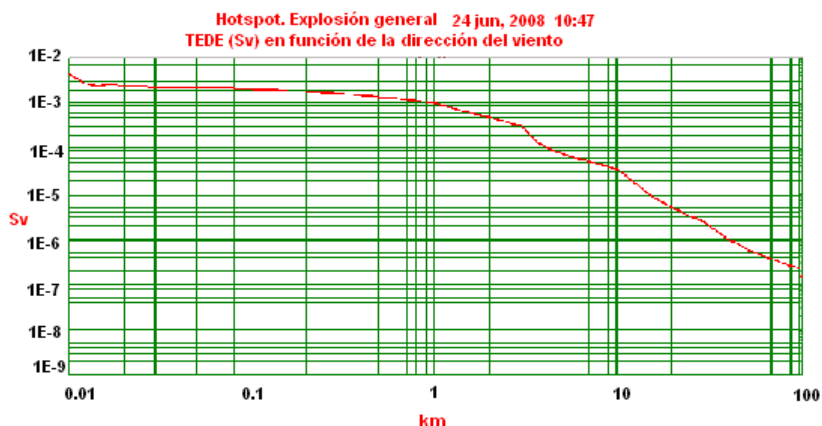
#### 4.1.9.5. Distribuciones de la contaminación superficial



Material fuente:	Cs-137 D 30 y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

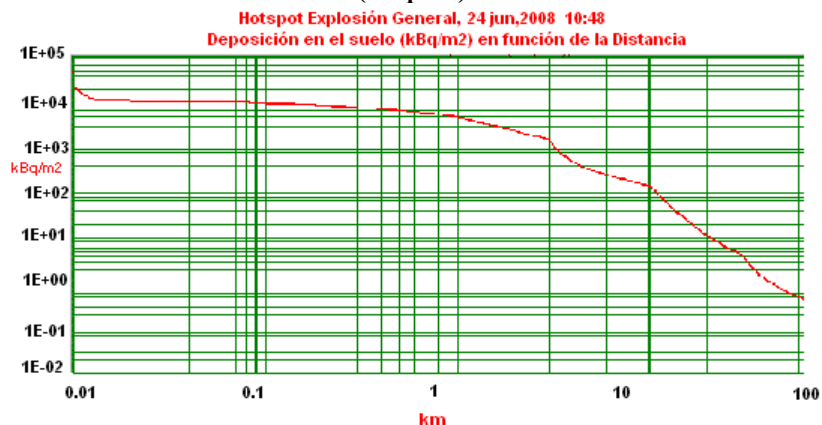
**Interior: 3.70E+03Sv (0,21km<sup>2</sup>)      Medio: 3.70 E+02 Sv(1,6km<sup>2</sup>)      Exterior: 3.70E+01 Sv (10km<sup>2</sup>)**

4.1.9.6. Gráfico continuo valores de la TEDE en Sv



Material fuente:	Cs-137 D 30 y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

4.1.9.7. Gráfico continuo valores de la concentración de contaminación radiactiva en el suelo (KBq/m2)



Material fuente:	Cs-137 D 30 y	Frac. Resp.Rel.:	0.200
Término fuente:	1.8500E+13Bq	Techo nubes:	286m
Explosivo Equivalente:	2.00E+02 Pounds of TNT		
Velocidad viento(h=10m):	1.0 m/s		
Tipo estabilidad:	F (tiempo muestra:10min)	Altura de inversión gráfico:	NO
Velocidad deposición:	0.3 cm/s		
Altura del receptor:	1.5 m		

#### 4.1.9.8. Cálculo del exceso de riesgo radiológico asociado a la explosión

A continuación se expone el cálculo del riesgo de exceso en inducción de cánceres en la población expuesta a lo largo de su vida.

*Dosis de exposición:* 4.69mSv

*Tipo exposición:* única y continua

*Exceso de riesgo de cáncer:* 50 años

*Factor de riesgo:* población ERR% 0,15

#### 4.1.10. Aplicación al escenario II del simulador RASCAL

Descripción del código simulador RASCAL

Este es el código usado en la actualidad por la NRC (Nuclear Regulatory Comisión, EE.UU) en su centro de operaciones para el control de emergencias relacionadas con las emisiones atmosféricas de materiales radiactivos, el RASCAL 3.0.5 (Radiological Assessment System for Consequence Análisis), es un código desarrollado por la propia NRC hace 220 años y desde entonces ha sido ampliado en sus posibilidades hasta la actualidad tal y como se contempla en NUREG-1741. (S. A. McGuire et al, 2007) (G. F. Athey et al, 2007)

Rascal 3.0.5 evalúa emisiones procedentes de plantas nucleares, instalaciones y dispositivos de almacenamiento y gestión de residuos radiactivos, instalaciones del ciclo de combustible y otro tipo de instalaciones y equipos donde se trabajan con elementos radiactivos.

Los términos fuente en el RASCAL, estiman la cantidad de material radiactivo emitido en diferentes escenarios, tales como accidentes en instalaciones del ciclo de combustible, incendios y explosiones en instalaciones con uranio, accidentes de criticidad, emisiones isotópicas pe.e. en transportes de materiales radiactivos, etc.

RASCAL 3.0.5 trabaja interrelacionando un juego de módulos con diferentes funciones:

- Término fuente: este módulo calcula el término fuente dependiente del tiempo, que para el caso de plantas nucleares está compuesto por 50 radionúclidos que incluyen padres e hijos. Este módulo es característico del RASCAL y le da una gran capacidad para modelar diferentes escenarios.
- Procesador de datos meteorológicos: este módulo permite suministrar datos meteorológicos procedentes de observaciones directas u otras fuentes de datos e incluso que estos sean variables en el tiempo.

- Difusión y transporte atmosférico: este módulo utiliza un modelo bidimensional de Gaussiana para calcular concentraciones de isótopos en función de la distancia y el tiempo en la dirección del viento.
- Calculador de dosis: este módulo calcula las dosis procedentes de emisiones de isótopos en suspensión en el medio, dando valores de TEDE, en tiroides, agudas, etc., debidas a tres vías de exposición, la inhalación, exposición a la nube y exposición procedente del suelo contaminado. El modelo hace estimaciones de dosis a largo plazo, según modelos de la EPA (Environmental Protection Agency, EE.UU) según métodos de la Federal Radiological Monitoring and Assessment Center (FRMAC, EE.UU.).
- Exposición de resultados: permite sacar los datos de dosis y contaminaciones, en formas numéricas y gráficas de diferentes formas.
- Para el caso del hexafluoruro de uranio (UF) el RASCAL tiene un modelo específico de gas pesado que tiene en cuenta las reacciones exotérmicas con el aire y otros problemas gravitacionales en la pluma.

Las limitaciones para el RASCAL, suponen que ya que se trata de instrumento para estimaciones rápidas y accesibles en los primeros momentos en emergencias, los datos del término fuente y meteorológicos no van a ser precisos y por lo tanto sus resultados serán estimaciones.

*Aplicación del código RASCAL al escenario II*

The screenshot shows a window titled "Case Summary" with the following data:

<b>Event Type</b>	Other Radioactive Material Releases
<b>Location</b>	
Name:	plz
City, county, state:	<undefined>, <undefined>, <undefined>
Lat / Long / Elev:	39.0000° N, 0.0000° E, 0 m
Time zone:	<undefined>
<b>Source Term</b>	
Type:	Isotopic Rates
Sample ID:	<undefined>
Sample rate units:	Ci/s
Period start:	08/19/08 00:00
Period stop:	08/19/08 00:01
Co-60	8.00E+00

**Release Pathway**

Type: Direct to Atmosphere  
 Release point: Not an isolated stack  
 Release height: 0. m  
 Building wake effects: Computed

Release timings  
 To atmosphere start: 08/19/2008 00:00  
 To atmosphere duration: 0 days, and 00:01

**Meteorology**

Type: Actual Observations  
 Data set name: co60 dos  
 Data set desc: Station 1 Dir=270 Spd=1 Stab=F Precp=N

Summary of data at release point:		Dir	Speed	Stab	Precip	Temp	DP
		deg	m/s	class		°C	°C
08/18/2008 23:00	Obs	270	1.0	F	None	27	27

**Calculations**

Case description: plzv

Building wake effects: Computed

Release timings  
 To atmosphere start: 08/19/2008 00:00  
 To atmosphere duration: 0 days, and 00:01

**Meteorology**

Type: Actual Observations  
 Data set name: co60 dos  
 Data set desc: Station 1 Dir=270 Spd=1 Stab=F Precp=N

Summary of data at release point:		Dir	Speed	Stab	Precip	Temp	DP
		deg	m/s	class		°C	°C
08/18/2008 23:00	Obs	270	1.0	F	None	27	27

**Calculations**

Case description: plzv  
 End of calculations: 08/19/2008 06:00  
 Distance of calculation: Close-in + to 10 miles  
 Close-in distances: 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5, 2.0 miles

**Source Term**

**Total activity released to atmosphere:** 4.8E+02 Ci

<b>Nuclide</b>	<b>Ci</b>	<b>Nuclide</b>	<b>Ci</b>	<b>Nuclide</b>	<b>Ci</b>
Co-60	4.8E+02				

**Source Term**

**Total activity released to atmosphere:** 1.8E+13 Bq

<b>Nuclide</b>	<b>Bq</b>	<b>Nuclide</b>	<b>Bq</b>	<b>Nuclide</b>	<b>Bq</b>
Co-60	1.8E+13				



### Maximum Dose Values (Sv) - To 16 km

Dist from release miles (kilometers)	3 (4.8)	4 (6.4)	5 (8.0)	7 (11.3)	10 (16.1)
Total EDE	3.6E-03	3.3E-03	3.0E-03	2.5E-03	1.8E-03
Thyroid CDE	8.9E-04	8.2E-04	7.5E-04	6.2E-04	4.6E-04
Acute Lung	2.4E-04	2.2E-04	2.0E-04	1.7E-04	1.3E-04
Total Acute Bone	3.6E-05	3.1E-05	2.7E-05	2.0E-05	1.2E-05
Inhalation CEDE	3.3E-03	3.0E-03	2.7E-03	2.3E-03	1.7E-03
Cloud Shine	7.4E-06	7.5E-06	6.8E-06	5.6E-06	4.2E-06
Period Gnd Shine	1.7E-05	1.4E-05	1.1E-05	6.4E-06	2.3E-06
4-day Ground Shine	3.5E-04	3.1E-04	2.7E-04	2.1E-04	1.4E-04

Notes:  
 1. Doses exceeding PAGs are underlined.  
 2. Early-Phase PAGs: TEDE - 10 mSv, Thyroid CDE - 50 mSv  
 3. \*\*\* indicates values less than 1.0  $\mu$ Sv

Value displayed:  Close-in dose    Display units:  English  
 Doses to 10 miles     Metric  
 Criticality shine dose

[Definitions](#)    [Print](#)

### Maximum Dose Values (Sv) - Close-In

Dist from release miles (kilometers)	0.1 (0.16)	0.2 (0.32)	0.3 (0.48)	0.5 (0.8)	0.7 (1.13)	1. (1.61)	1.5 (2.41)	2. (3.22)
Total EDE	<u>2.7E-02</u>	<u>1.3E-02</u>	9.1E-03	6.2E-03	5.2E-03	4.5E-03	4.1E-03	3.9E-03
Thyroid CDE	6.6E-03	3.1E-03	2.2E-03	1.5E-03	1.3E-03	1.1E-03	9.9E-04	9.6E-04
Acute Lung	1.8E-03	8.4E-04	6.0E-04	4.2E-04	3.4E-04	3.0E-04	2.7E-04	2.6E-04
Total Acute Bone	3.1E-04	1.4E-04	1.0E-04	6.9E-05	5.7E-05	5.0E-05	4.5E-05	4.4E-05
Inhalation CEDE	2.4E-02	1.1E-02	8.1E-03	5.5E-03	4.6E-03	4.0E-03	3.6E-03	3.5E-03
Cloud Shine	4.6E-05	1.9E-05	1.3E-05	8.3E-06	6.7E-06	5.8E-06	5.3E-06	5.1E-06
Period Gnd Shine	1.8E-04	8.6E-05	6.2E-05	4.2E-05	3.5E-05	3.0E-05	2.8E-05	2.7E-05
4-day Ground Shine	3.0E-03	1.4E-03	1.0E-03	6.9E-04	5.7E-04	4.9E-04	4.5E-04	4.3E-04

Notes:  
 1. Doses exceeding PAGs are underlined.  
 2. Early-Phase PAGs: TEDE - 10 mSv, Thyroid CDE - 50 mSv  
 3. \*\*\* indicates values less than 1.0  $\mu$ Sv

Value displayed:  Close-in dose    Display units:  English  
 Doses to 10 miles     Metric  
 Criticality shine dose

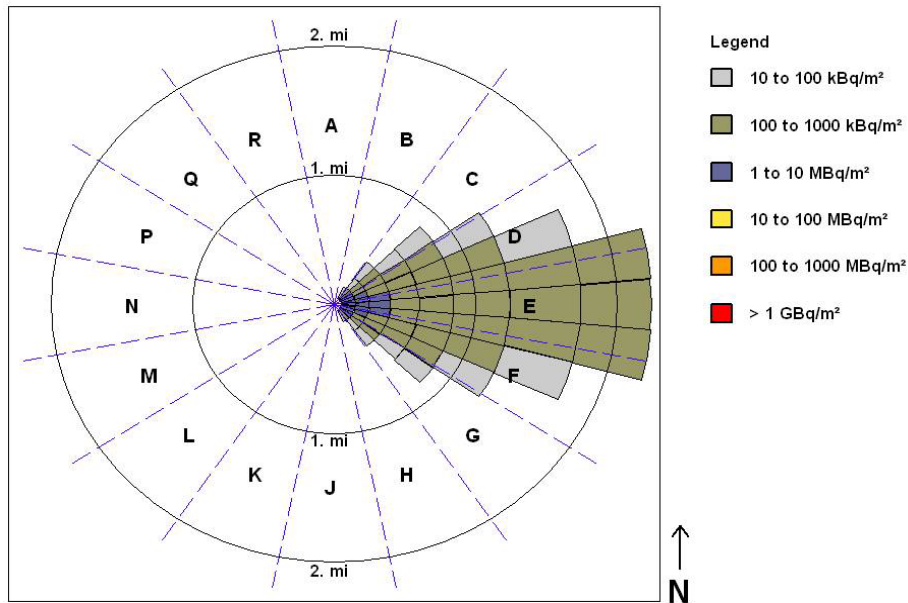
[Definitions](#)    [Print](#)

**Surface Concentration of Co-60**

Cumulative from 08/19/2008 00:00 to 08/19/2008 06:00

plzv

plz

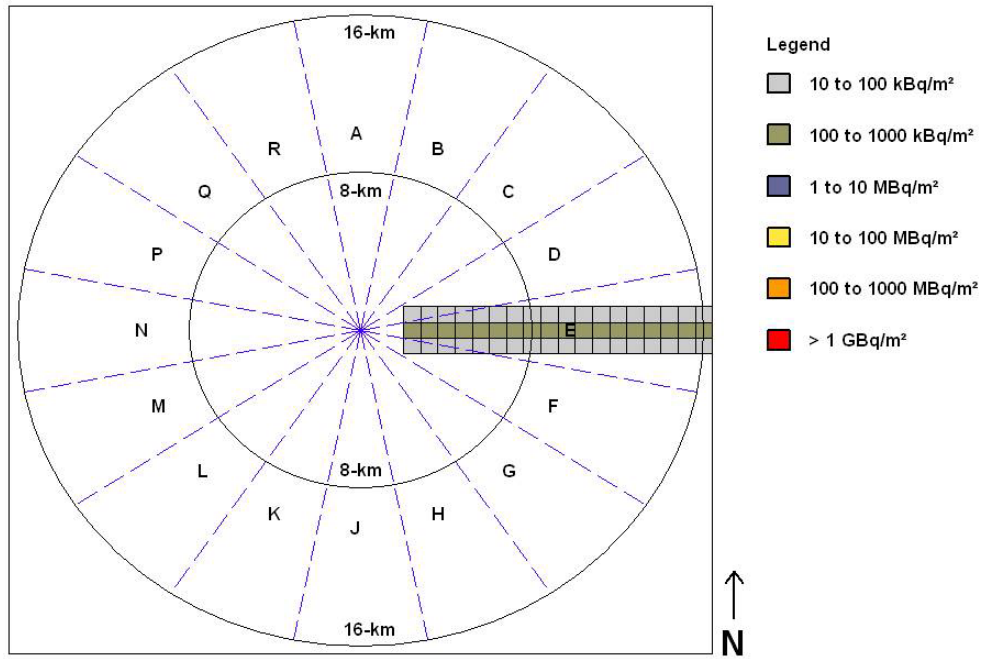


**Surface Concentration of Co-60**

Cumulative from 08/19/2008 00:00 to 08/19/2008 06:00

plzv

plz

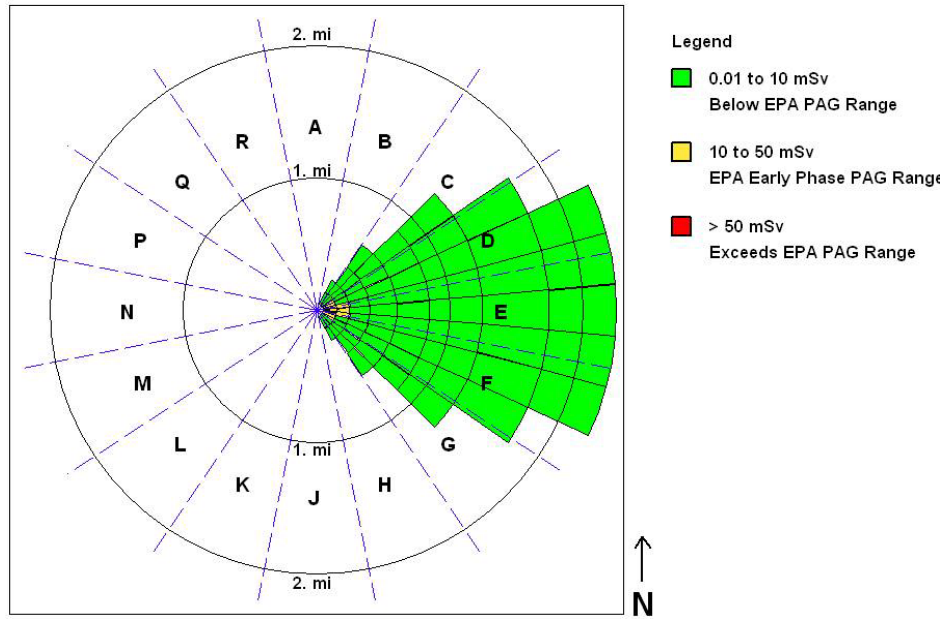


**Total Effective Dose Equivalent**

Cumulative from 08/19/2008 00:00 to 08/19/2008 06:00

plzv

plz

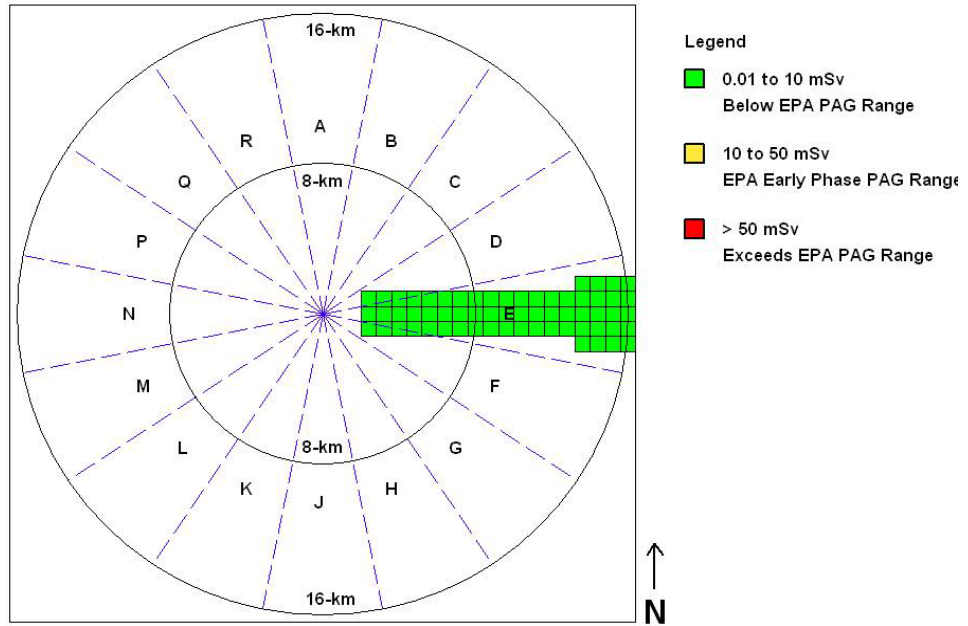


**Total Effective Dose Equivalent**

Cumulative from 08/19/2008 00:00 to 08/19/2008 06:00

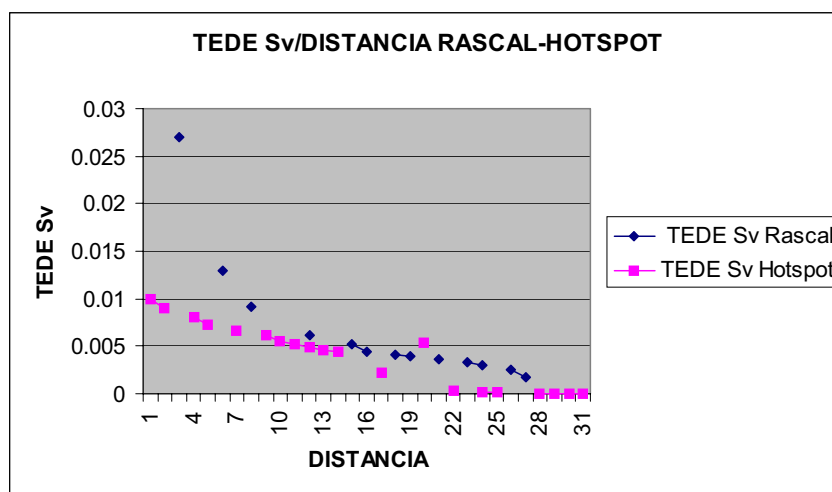
plzv

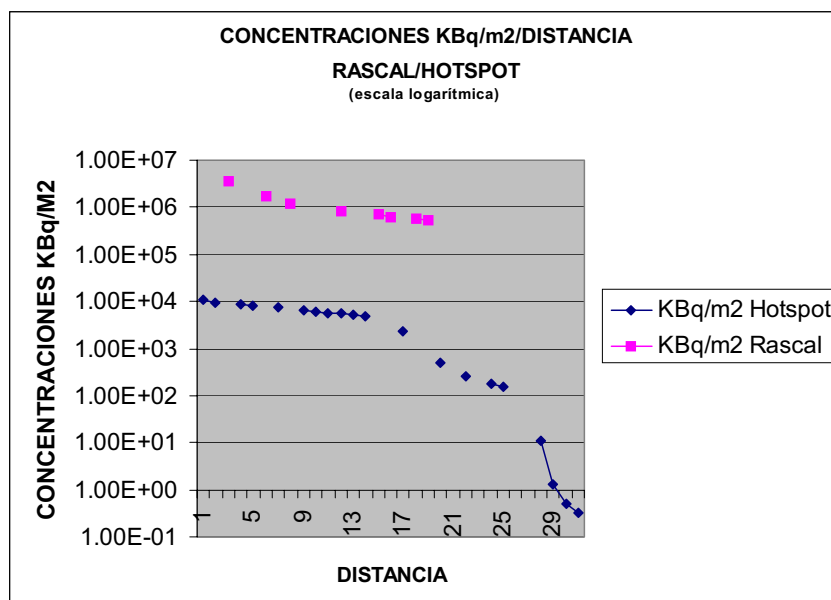
plz



4.1.10.1. Estudio comparativo de valores RASCAL/HOTSPOT(escenario II)

distancia en Km	TEDE Sv Rascal	TEDE Sv Hotspot	KBq/m2 Rascal	KBq/m2 Hotspot
0.03		1.00E-02		1.10E+04
0.1		9.00E-03		9.70E+03
0.16	2.70E-02		3.67E+06	
0.2		8.00E-03		8.70E+03
0.3		7.20E-03		7.90E+03
0.32	1.30E-02		1.72E+06	
0.4		6.60E-03		7.30E+03
0.48	9.10E-03		1.23E+06	
0.5		6.10E-03		6.70E+03
0.6		5.60E-03		6.20E+03
0.7		5.20E-03		5.80E+03
0.8	6.20E-03	0.0049	8.44E+05	5.50E+03
0.9		4.60E-03		5.10E+03
1		4.40E-03		4.90E+03
1.13	5.20E-03		6.99E+05	
1.61	4.50E-03		6.07E+05	
2		2.20E-03		2.40E+03
2.41	4.10E-03		5.51E+05	
3.22	3.90E-03		5.33E+05	
4		5.30E-03		5.00E+02
4.8	3.60E-03			
6		3.00E-04		2.60E+02
6.4	3.30E-03			
8	3.00E-03	2.20E-04		1.80E+02
10		1.70E-04		1.50E+02
11.3	2.50E-03			
16.1	1.80E-03			
20		2.80E-05		1.10E+01
40		6.50E-06		1.30E-00
60		3.00E-06		5.00E-01
80		1.90E-06		3.30E-01





#### 4.1.10.2. Resultados de la comparación de RASCAL/HOTSPOT

El código RASCAL, tal y como se ha comentado anteriormente, es un elemento para valoración de emergencias nucleares-radiológicas en sus primeras consecuencias para plantas nucleares y emplazamientos relacionados, se basa en métodos físico-matemáticos similares al HOTSPOT, ha sido desarrollado, testado y actualizado por la NRC (Nuclear Regulatory Comisión) de los EE.UU., entre sus diferentes posibilidades del cálculo del término fuente (material radiactivo liberado en el ambiente), no dispone de un módulo específico para lo que sería una “bomba sucia” o “sistema de dispersión radiológica”, por lo que para contrastar resultados con el Hotspot, se ha escogido lo mas similar que contiene el RASCAL a una explosión (liberación instantánea) del material radiactivo, que ha sido una liberación radiactiva medida por la tasa isotópica de emisión a la atmósfera, de 8 Ci/s durante un minuto (480 Ci), que es el mínimo tiempo de emisión que contempla este código. Las condiciones meteorológicas suministradas al módulo correspondiente del RASCAL han sido las mismas que en el HOTSPOT y de la misma forma se ha tenido en cuenta el efecto urbano en el modelo de dispersión y el efecto del Ground-Shine 4 días (suelo radiante) y se han mantenido el resto de condiciones del término fuente (aproximadamente 500 Ci de Co60) . Con todo lo anterior se ha aplicado la simulación en el RASCAL y de los resultados obtenidos comparándolos con los obtenidos para el mismo escenario (escenario II) con el HOTSPOT, podemos sacar las siguientes conclusiones:

Respecto de los valores de las TEDEs (Sv), hasta los 0,4 Kms del punto de la explosión, los valores calculados por el RASCAL son superiores en un orden de magnitud frente a los estimados por el HOTSPOT, entre los 0,4 Km. y los 5 Km.

Ambos cálculos son muy similares, cuestiones que atribuimos a la desaparición del efecto explosión que contempla un código y el otro no y que incidirá fundamentalmente en los primeros instantes (zona muy próxima a la detonación) para luego ir desapareciendo provocándose una dispersión en pluma similar en todos estos códigos, el efecto explosión lo que determinara es una difusión (concentraciones y exposiciones mas bajas en esa zona) muy superior en esos primeros instantes a la contemplada por la emisión isotópica de una emisión convencional. A partir de los 6 Km. El código RASCAL vuelve a estar en un orden de magnitud por encima del HOTSPOT.

Las distribuciones espaciales bidimensionales obtenidas (formas) en ambos códigos, son similares, cuestión que también era presumible habida cuenta que sus fundamentos son similares y para el código RASCAL hemos aplicado unas únicas condiciones del viento (velocidad y dirección) aunque este ofrece la posibilidad de variarlas en el tiempo. El frente de la distribución calculada por el RASCAL es significativamente superior al las zonas delimitadas por el HOTSPOT, cuestión que también atribuimos a la diferencias de cálculos iniciales debidas a la mayor difusión debida a la explosión.

Las pendientes de representación TEDE/distancia a la explosión, en los resultados de ambos códigos son similares.

Respecto de los valores de contaminación superficial producidos ( $\text{kBq/m}^2$ ), para ambos códigos en las zonas que disponen de datos contrastables, podemos decir que las pendientes CONCENTRACIÓN/Distancia a la explosión, son similares. En general existe una diferencia de dos órdenes de magnitud a favor de los valores de concentraciones calculados por el RASCAL frente a los del HOTSPOT ( $8.44\text{E}+05$  y  $5.50\text{E}+03$  respectivamente), esto pensamos podría atribuirse una vez mas al fenómeno explosión que al no contemplarse en el RASCAL, produce una distribución de contaminación superior y mas uniforme en toda la trayectoria de la pluma. Esta diferencia de valores no la consideramos muy significativa ya que afecta a valores de órdenes de magnitud grandes.

Las distribuciones espaciales bidimensionales obtenidas (formas) en ambos códigos, son similares, cuestión que también era presumible habida cuenta que sus fundamentos son similares y sus valores iguales. El frente de la distribución calculada por el RASCAL en los 4 Km. es ligeramente superior al de las zonas delimitadas por el HOTSPOT (1 Km. Frente a 800 m.), cuestión que consideramos poco significativa.

Con carácter general y como era de esperar, ya que aunque se trate de modelos de dispersión atmosférica similares como no disponen de elementos de cálculo iguales para sucesos determinados, tal y como es el caso de las "bombas sucias", los valores obtenidos tanto en TEDEs como en concentraciones de contaminación superficial para el isótopo en cuestión son diferentes, pero estas diferencias las estimamos como poco significativas en el entorno de trabajo que desarrollamos. En general los valores obtenidos con el código RASCAL suelen ser un poco superiores a los obtenidos con el HOTSPOT resultado que atribuimos al efecto inicial de la explosión contemplado en un código y en el otro no. Razones por las que podemos concluir que la contrastación de ambas simulaciones determina la validez de cualquiera de los modelos analizados dentro de las limitaciones expuestas para los mismos, eligiendo en el presente trabajo



como código simulador el HOTSPOT por tener módulo específico para el cometido del mismo.

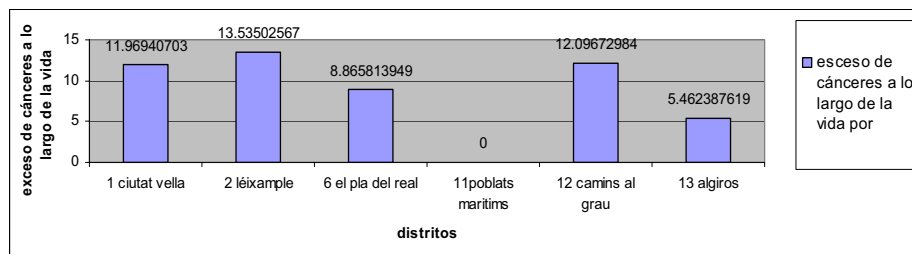
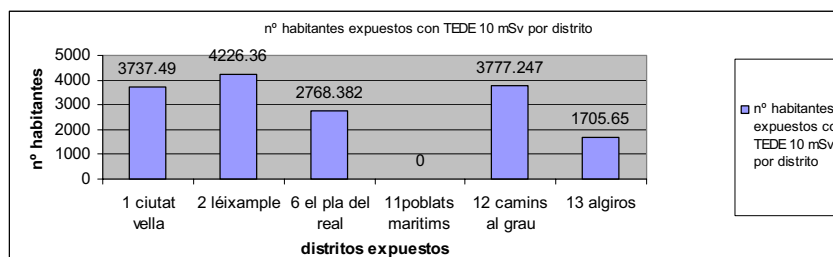
#### 4.2.1. Estimación de personas afectadas e inducción de cánceres

En las tablas y gráficos siguientes, se expondrá la estimación de personas expuestas a los diferentes niveles de dosis (TEDE) y su ERR asociada, distribuidas por distritos y en relación a la superficie afectada en cada uno de ellos con las diferentes dosis (factores de riesgo asociados en el exceso de cánceres previstos) y sus densidades de población, se estimara también el número de casos de cánceres fatales inducidos durante 50 años por distritos. Las tablas y gráficos se refieren concretamente al escenario II que es el escogido para desarrollar en la presente tesis, por entender que es el más desfavorable y el más probable.

#### ESCENARIO II TEDE 10mSv.

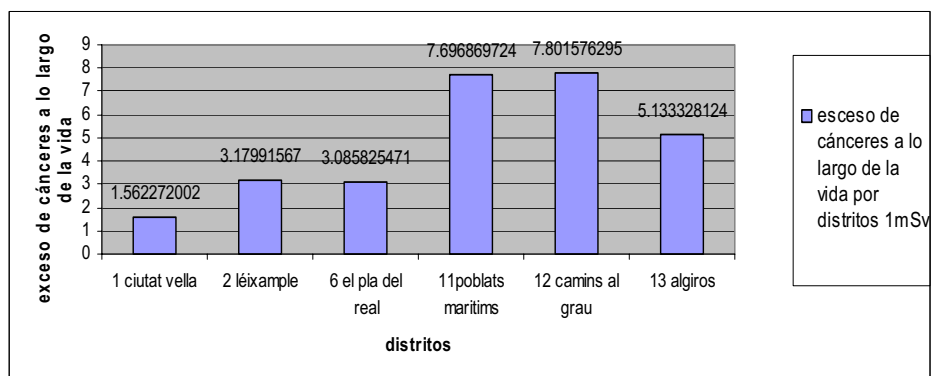
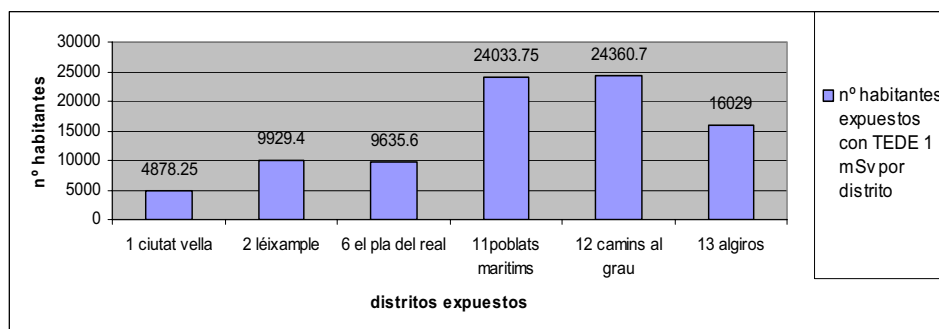
0

DISTRITO	% de la sup.interior isodosis 1mSv TEDE 10mSv	Km2 del distrito expuestos a 10mSv	densidad población distrito hab./Km2	nº habitantes expuestos con TEDE 10 mSv por distrito	exceso de cánceres 0.32025255% 10 mSv
1 ciutat vella	30	0.249	15010	3737.49	11.96940703
2 léixample	20	0.166	25460	4226.36	13.53502567
6 el pla del real	18	0.1494	18530	2768.382	8.865813949
11 poblats maritims	0	0	14790	0	0
12 camins al grau	17	0.1411	26770	3777.247	12.09672984
13 algiros	15	0.1245	13700	1705.65	5.462387619
		0.83		16215.129	51.92936411



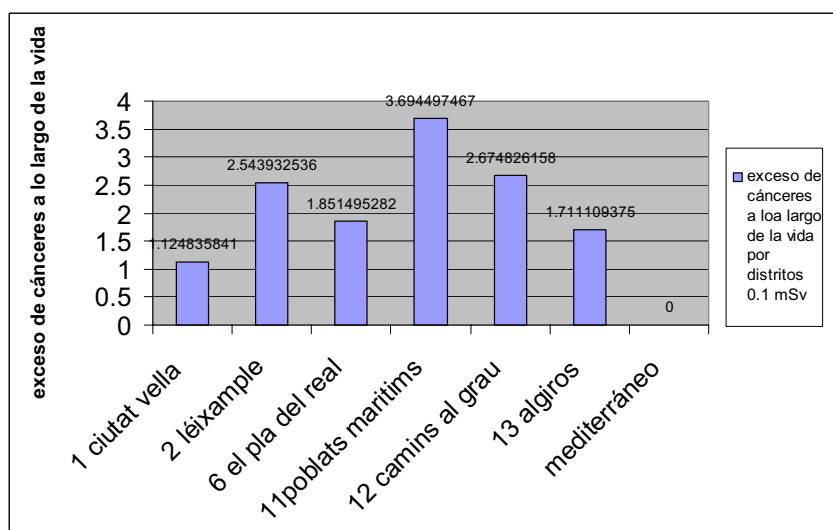
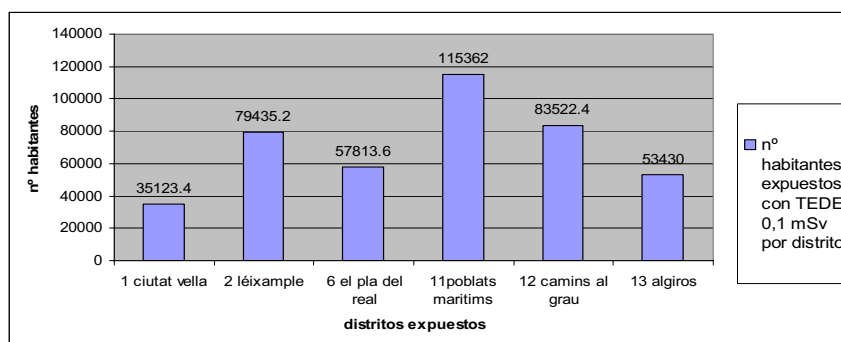
**ESCENARIO II TEDE 1mSv.**

DISTRITO	% de la sup.interior isodosis 0,1mSv TEDE 1mSv	Km2 del distrito expuestos a 1mSv	densidad población distrito hab./Km2	nº habitantes expuestos con TEDE 1 mSv por distrito	exceso de cánceres 0.032025255% 1 mSv
1 ciutat vella	5	0.325	15010	4878.25	1.562272002
2 léixample	6	0.39	25460	9929.4	3.17991567
6 el pla del real	8	0.52	18530	9635.6	3.085825471
11 poblats maritims	25	1.625	14790	24033.75	7.696869724
12 camins al grau	14	0.91	26770	24360.7	7.801576295
13 algiros	18	1.17	13700	16029	5.133328124
mediterráneo	24	1.56	0	0	0
	100	6.5		<b>88866.7</b>	<b>28.45978729</b>



**ESCENARIO II TEDE 0,1mSv.**

DISTRITO	% de la sup.interior isodosis 0,1mSv TEDE 0,1mSv	Km2 del distrito expuestos a 0,1mSv	densidad población distrito hab./Km2	nº habitantes expuestos con TEDE 0,1 mSv por distrito	exceso de cánceres 0.0032025255% 0,1 mSv
1 ciutat vella	6	2.34	15010	35123.4	1.124835841
2 léixample	8	3.12	25460	79435.2	2.543932536
6 el pla del real	8	3.12	18530	57813.6	1.851495282
11 poblats maritims	20	7.8	14790	115362	3.694497467
12 camins al grau	8	3.12	26770	83522.4	2.674826158
13 algiros mediterráneo	10	3.9	13700	53430	1.711109375
	40	15.6	0	0	0
	100	39		<b>424686.6</b>	<b>13.60069666</b>





## CAPITULO V: CONCLUSIONES

### 5.1. Resumen conclusiones resultados

A la vista de los resultados expuestos en el apartado anterior y resumido en la tabla incluida en el presente capítulo, podríamos concluir las siguientes consecuencias:

### 5.2. Resuspensión

El efecto de la resuspensión del material radiactivo, consistente en que dicho material, una vez ha sido diseminado por la pluma de la explosión, posteriormente por el efecto del viento ambiente es “resuspendido” de nuevo en la atmósfera y por consiguiente vuelve a convertirse en un foco de exposición para las personas, una vez cuantificado su término fuente y su radio efectivo ( $2E+04$  Bq/m<sup>2</sup>, 1000 mts.), resulta ser poco significativo comparado con los valores de exposición calculados al público expuesto,  $7,90 E-05$  mSv frente a los 2 mSv en general, por lo tanto se puede perfectamente prescindir del mismo en la simulación de este tipo de eventos.

### 5.3. TEDE (dosis total efectiva)

Si se analizan los valores de la Dosis Equivalente Total Efectiva (TEDE), ver resultados de escenarios y tabla resumen, podemos apreciar lo siguiente:

**En el escenario II** que es el que contempla la aportación de dosis al público, procedente de la irradiación del material radiactivo depositado en el suelo en la dirección de la emisión (Ground Shine), durante los cuatro días siguientes (incluye el de la emisión) al ataque con la bomba sucia, se computa una de las mayores TEDEs de la simulaciones en los siete escenarios, 21 mSv., esta exposición se produce en un radio de unos 10 mts. alrededor del punto cero de la explosión y por lo tanto cabe hacerse varias reflexiones:

La superficie de distrito afectada con ese nivel de dosis es de ( $\pi r^2$ ) 314 m<sup>2</sup> (0,000314 Km<sup>2</sup>), que multiplicado por la densidad de población correspondiente al distrito de Ciutat Vella (Plaza del Ayuntamiento) que es de 15010 habitantes/Km<sup>2</sup>, supondría una exposición a ese nivel de 4,7 personas, que multiplicado por el factor de aumento de probabilidad de inducción de cánceres para esa exposición en esa población sería de (0,672%) es decir 0,0049 casos en 50 años, es decir insignificante.

Por otro lado este nivel de exposición importante (21 mSv) se produce en un radio de 10 mts. alrededor del punto cero de la explosión (lugar de la explosión), para los 100 Kgs. de explosivo (eq. TNT) la zona letal (presiones de la onda de choque generada en la explosión serán  $\geq 25$  psi) es hasta 11 a 18 mts. (referencias del Hotspot Sandia National Laboratories), por lo que se supone que las personas afectadas por esa exposición fallecerían por efectos de la sobrepresión, por lo que no tendría sentido valoraciones del tipo radiológico.

Otra consideración al respecto de la exposición máxima calculada con el efecto del “Ground Shine” de cuatro días, sería que según contempla las guías PAGs solo se

prevé la evacuación y refugio de la población expuesta cuando se igualen o superen dosis de 10 mSv. ( que corresponderían con una inducción cánceres en la población expuesta de 1:2000, ) y relocalizarlos (reubicarlos transitoriamente hasta que su zona de origen sea considerada reutilizable) cuando la dosis pueda ser  $\geq 20$  mSv., en estos límites y actuaciones a seguir en su caso las autoridades Federales Estadounidenses, han considerado los beneficios/detrimentos de toda índole que conlleva la actuación en uno u otro sentido (evacuar o no, reubicar o no).

Observando la tabla de valores de TEDE en función de la distancia para este escenario II, vemos que hasta 10 mts desde el punto cero (lugar de la explosión) la TEDE será de 21 mSv (zona letal), a partir de unos 15 mts. la TEDE baja a 10 mSv y esto se mantiene hasta unos 200 mts., después va descendiendo hasta llegar a 1 mSv a los 3000 mts., todo ello *sobre la línea de propagación en la dirección del viento* de manera teórica ya que según se aprecia en la gráfica de la dispersión de la pluma , en cuenta nos alejamos de esa línea en el sentido transversal (considerando la superficie), estamos en zonas de exposición de TEDE que llega a ser diez veces inferior es decir de 1mSv. Esto significa e efectos prácticos, que en primer lugar conviene simular la tesis con el escenario mas probable y a la vez mas desfavorable que en este caso sería el contemplado como escenario II y para este caso podríamos plantearnos una hipótesis de exposición hacia la población muy conservadora de 10 mSv. (una vez descartada totalmente por las razones antes expuestas la de 21 mSv.), que suponrá que todo el interior de la curva de isoexposición de 1mSv esta expuesta con 10 mSv., de la misma manera suponemos que el interior de la curva de isoexposición de 0,1 mSv esta expuesto con 1 mSv. y por último la de 0,01 mSv. expuesta con 0,1 mSv

En el escenario VII que es el que contempla el ataque con una fuente radiactiva de muy alta actividad y con el uso de una gran cantidad de explosivos. En este supuesto tal y como era de esperar la zona con exposición de 1 mSv. ha aumentado de manera notoria, llega a los 4,2 Km<sup>2</sup> por lo tanto la población expuesta será muy superior. Los razonamientos hechos anteriormente sobre la letalidad de la explosión y por lo tanto la no necesidad de valorar las altas dosis recibidas por la población expuesta que no superaría los 22 mSv., tendría el mismo sentido que se ha descrito para el escenario II. Las mismas discusiones sobre la aplicación de los criterios de evacuación, refugio y relocalización (PAGs) serían de aplicación a este caso. Por todo ello y por entender sobre todo que se trata de un escenario muy improbable, la presente tesis lo desestima y se centra en el desarrollo de la hipótesis anterior

#### 5.4. Concentraciones

Observando la tabla resumen de resultados de las simulaciones por escenarios, podemos apreciar las siguientes cuestiones:

Los valores de máximas concentraciones se obtienen para los escenarios VII (4E+05 KBq/m<sup>2</sup>) que representa una gran actividad y cantidad de explosivos, escenario IV (2E+05 KBq/m<sup>2</sup>) que representa la aparición de lluvia en el escenario y el término fuente mas razonable (escenario II), y el escenario V (6E+04 KBq/m<sup>2</sup>) que representa un término fuente razonable como el anterior, pero con una gran variabilidad atmosférica,

Según se desprende de lo anterior, el efecto de la lluvia intensifica la contaminación por acelerar su depósito en el suelo, en este caso en un factor de 10 y para un mismo valor de concentración (superficies contaminadas con  $3,7E+03$  KBq/m<sup>2</sup>) en un factor de 5 para la superficie contaminada, motivos por los que la aparición de este meteoro durante el ataque será un factor digno de consideración en la simulación y que además va a complicar la paliación de las consecuencias del ataque. En este caso hay que decir que la lluvia por desgracia, no es un fenómeno muy habitual por estas latitudes y que en cualquier caso, en procesos de contaminación, también desarrolla un proceso positivo de limpieza de la misma por arrastre y dilución.

Respecto de las superficies contaminadas con  $3,7E+03$  KBq/m<sup>2</sup> (nivel escogido como referencia en la simulación) en los supuestos mas significativos tendríamos que el escenario VII contamina 5 Km<sup>2</sup>, el escenario IV contamina 1 Km<sup>2</sup> (lluvia), el escenario V contamina 0,27 Km<sup>2</sup> (gran variabilidad atmosférica) y el escenario VI contamina 0,060 Km<sup>2</sup> (viento a gran velocidad). El escenario VI supone el aumento de zonas contaminadas pero a la vez la disminución importante de las concentraciones de la contaminación en las mismas, se trata pues de un escenario menos agresivo desde el punto de vista de efectos radiológicos, pero su trascendencia desde el punto de vista psicosocial y económico puede ser mayor debido al aumento de zonas contaminadas, en cualquier caso no es esperable que los terroristas usen un método científico para valorar el alcance mas óptimo desde su perspectiva. Como es normal el escenario VII (máxima carga radiológica y explosiva) resulta ser el mas pernicioso, pero por las mismas consideraciones mantenidas a lo largo de la tesis, no lo desarrollamos como hipótesis de trabajo.

#### **5.5. Estudio comparativo de los escenarios con cobalto y con cesio (EII/EIX)**

La máxima TEDE es de 4,69 mSv, que resulta ser muy inferior a los 21 del escenario II, la superficie grafiada con máxima TEDE para el escenario IX (Cesio) es de 0,16 Km<sup>2</sup>, inferior a los 0,83 del escenario II. La máxima concentración con el escenario IX es de  $2E+04$  kBq/m<sup>2</sup> que resulta ser igual al escenario II, las superficies máximas con concentración de contaminación superficial de  $3,7E+03$  kBq/m<sup>2</sup> son iguales en estos escenarios (IX y II) y por último la probabilidad de inducción de cánceres en la población expuesta en el escenario IX es del ERR% 0,15 que resulta ser muy inferior a la del escenario II (0,672%).

Respecto de las formas gráficas de las distribuciones de dosis de exposición y concentraciones de contaminantes en estos escenarios, se puede apreciar que para una misma TEDE de 1 mSv, teniendo en cuenta que los datos meteorológicos, de velocidad de deposición de las partículas, de fracción aerotransportada y respirable para ambos isótopos son iguales, en el escenario II la superficie expuesta tanto en superficie como longitud es mayor que en el escenario IX. Para una misma concentración de contaminación superficial de  $3,7E+03$  kBq, en ambos escenarios las formas son prácticamente iguales, cuestión esta que por los anteriores comentarios era presumible.

Las secciones transversales de las gráficas TED/distancia, tienen las mismas formas y pendientes, con la única diferencia de que en el caso del escenario II sus valores globales son muy superiores a los del escenario IX. Por el contrario y los mismos gráficos pero referentes a la concentración de contaminación superficial/distancia en ambos escenarios son iguales.

La conclusión al hacer el estudio comparativo de las consecuencias radiológicas de la misma bomba sucia utilizando Cesio 137 en vez de Cobalto 60 son que sus consecuencias negativas son menores, por lo que en el presente trabajo, se sigue apoyando el escenario II como el mas probable y conservador.

### 5.6.Exceso en la probabilidad de inducción de cánceres

Los casos mas significativos por probables, como no podía ser de otra forma, se dan con los valores mas altos de las TEDEs, que corresponden con los escenarios VII , 22 mSv que corresponde un exceso de probabilidad de inducción de cánceres fatales a lo largo de la vida (50 años) de 0.704 ERR% y el escenario II que corresponde con 21 mSv al que se le asociaría un exceso de probabilidad de inducción de cánceres fatales a lo largo de la vida (50 años) de 0.672 ERR%. Respecto de estos resultados, mantenemos los mismos razonamientos anteriores y por lo tanto mantenemos como escenario de trabajo el II con el “Ground Shine 4-days” con valores de exposición mas desfavorables de 10mSv que afectarían a una población de manera conservadora. Para este escenario, según se observa en las tablas y gráficos, con la exposición de 16215 personas a 10 mSv (insistimos de manera muy conservadora), se produciría un exceso en la probabilidad de aparición de cánceres fatales a lo largo de toda la vida (50 años) de 52 casos a los que habría que sumar los 29 que aparecerían en la población expuesta de 88866 personas con 1 mSv, el resto de población expuesta a dosis de 0,1 mSv (424686 personas) aportarían 14 casos mas, total a lo largo de 50 años aparecerían 95 casos mas de casos de cánceres fatales en la población expuesta que resulto ser de 529767 personas.

### 5.7.Conclusiones generales

El escenario analizado como mas probable del ataque terrorista en un entorno urbano, desarrollado en la presente tesis, es el que se ha considerado como aquel que es capaz de poderse llevar a cabo con una logística asumible por parte de los terroristas y que desarrollara consecuencias de todo tipo importantes hacia la sociedad (gran repercusión mediática), fundamentalmente estas características se basan en conseguir una fuente radiactiva de relativo fácil acceso, transporte, ocultación, manipulación y dispersión, acompañada de un explosivo de fácil acceso, manipulación, ocultación, transporte y suficiente poder detonante, todo ello con una mínima organización logística y riesgo que se valdrá de algún sistema de detonación remota o temporizada.

El resumen de todo ello se plasma en los datos utilizados en el denominado como escenario II que incluirá el efecto de la irradiación procedente de la deposición de material radiactivo en el suelo en la dirección del viento dominante, durante los cuatro días siguientes a la explosión (incluido el día de la explosión), que es el analizado en profundidad en la presente tesis y se resume a continuación:

Nº escenario	II
Modelo simulación	Explosión general
Término fuente	500 Ci Co60Y 5,27 años
Kgs.eq. TNT explosivo	100
Estabilidad meteorológica	F



Velocidad viento m/s	1
lluvia	no
Ground Shine 4 días	si
Máx. TEDE en mSv	21
Distancia máx TEDE en mts.	10
Sup. máx.gráfica TEDE en Km <sup>2</sup>	0,83
Máx. concentración KBq/m <sup>2</sup>	2E+04
Distancia máx. concentración en mts.	10
Superficie máx concentración en Km <sup>2</sup> para 3,7E+03 KBq/m <sup>2</sup>	0,21
Exceso de probabilidad de inducción cánceres a lo largo de la vida (50 años) en ERR% para 21 mSv	0.672
Exceso de probabilidad de inducción cánceres a lo largo de la vida (50 años) en ERR% para 10 mSv	0.32025255
Exceso de probabilidad de inducción cánceres a lo largo de la vida (50 años) en ERR% para 1 mSv	0.032025255

Tabla 5.7.1. Resumen del escenario elegido (EII)

A la vista del análisis radiológico de la situación originada por este ataque terrorista, podríamos concluir la relativa poca trascendencia real, ya que los niveles de exposición por los diferentes conceptos, son realmente bajos aún considerando las diferentes posibilidades meteorológicas que incluirían la aparición de lluvia y por lo tanto estas dosis bajas implican la aparición solo de 95 casos de cánceres fatales atribuibles al ataque, distribuidos durante 50 años. Hay que considerar que según el Registro de Mortalidad de la Comunidad Valenciana (Servicio de Epidemiología de la DGSP) el cáncer es la segunda causa de muertes en la Comunidad Europea (24,9%), concretamente y durante 1999 los tumores fueron la causa de 9120 defunciones en la Comunidad Valenciana (23,8%), si tomamos este valor como de base para las muertes naturales por cáncer en un año en esta Comunidad (tomamos 1999 por que la inmigración todavía no era tan numerosa como en la actualidad y por lo tanto su incidencia estadística era menor) y un mantenimiento de la población y sus condiciones, durante 50 años se producirían 456000 defunciones por cánceres naturales, durante ese período el efecto del ataque terrorista planteado supondría únicamente un aumento de esta tasa natural en un 0,0208% (95 casos mas).

Por el contrario la repercusión social y económica esperada sería grande, dependería en gran medida de la capacidad de reacción y control de la emergencia por parte de las autoridades responsables y de su capacidad de transmitir a la población la sensación de seguridad.

El escenario terrorista lo consideramos probable, dada la accesibilidad de los medios materiales para perpetrarlo, su repercusión y los escasos medios actuales para su detección preventiva efectiva.

La siguiente tabla 5.7.2 es un resumen de los datos mas significativos de todos los escenarios.

Nº Escenario	Modelo Simulación	Término Fuente	Kg eq. TNT explosivo	Estabilidad Meteorológica	Vel. Viento m/s	Lluvia	Ground Shine 4 días	Max. TEDE mSv	Dis. máx. TEDE mts	Sup. Máx. graf. TEDE km <sup>2</sup>	Máx. CONC kBq/m <sup>2</sup>	Dist. Máx. CONC mts.	Sup. Máx. CONC km <sup>2</sup>	Prob-Inducc. Cánceres ERR%
I	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	100	F	1	No	No	2	10	0,088 1mSv	2E+04	10	0,21 3,7E+03 kBq/m <sup>2</sup>	0,064
II	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	100	F	1	no	Si	21	10	0,83 1 mSv	2E+04	10	0,21 3,7E+03 kBq/m <sup>2</sup>	0,672
III	Resuspensión	2E+04kBq/m <sup>2</sup> Co60Y 5,27 años R.efect.1000m	0	F	1	No	No	7,90E-05	10	43 0,01mSv	-----	-----	-----	<1e-5
IV	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	100	F	1	Si	No	2	10	0,063 1mSv	2E+05	10	1 3,7E+03 kBq/m <sup>2</sup>	0,064
V	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	100	A	1	no	No	2,2	10	0,026 1 mSv	6E+04	10	0,27 3,7E+03 kBq/m <sup>2</sup>	0,07
VI	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	100	F	24	No	No	8,6E-05	10	1,5 0,01mSv	1,4E+03	10	0,06 3,7E+02 kBq/m <sup>2</sup>	<1e-5
VII	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	500	F	1	No	No	22	10	4,2 1 mSv	4E+05	10	5 3,7E+03 kBq/m <sup>2</sup>	0,704
VIII	Explosión General	500Ci Co60Y 5,27 años	100	F	1	si	si	159	10	2,5 1mSv	2E+05	10	1 3,7E+03 kBq/m <sup>2</sup>	5,09
IX	Explosión General	500 Ci Cs-137 30 años	100	F	1	No	Si	4,69	10	0,16 mSv	2E+04	10	0,21	0,15

Tabla 5.7.2

### **5.8. Líneas futuras**

En el anexo VIII y como propuestas de trabajo relacionados con la presente tesis, exponemos, el denominado como “Protocolo de actuaciones en incidentes radiológicos con “bombas sucias” y un resumen de los Manuales de las Guías para Acciones Protectoras en incidentes nucleares (manual of protective action guides and protective actions for nuclear incidents), desarrollado por la Office of Radiation Programs United States Environmental Protection Agency (1992)

Otra posible línea de actuación futura y de tipo preventivo, sería la puesta en marcha de un sistema de detección preventivo ambiental, mediante sensores de radiación ambientales, en los accesos a la ciudad, conectados vía radio/teléfono con el centro de control y con sincronización con sistema de videovigilancia-grabación para identificar posibles portadores de fuentes radiactivas intensas (vehículos, bultos, personas).

Desarrollo de convenios con laboratorios de baja actividad, para la medición de muestras radiactivas en emergencias y colaboraciones con entidades que trabajen en la gestión de este tipo de situaciones.

Desarrollar sistemas de simulación a largo plazo “Long Term” que realicen estimaciones mas precisas de las consecuencias de un ataque terrorista de este tipo.

Puesta en marcha de protocolos específicos en los cuerpos de intervención en emergencias, como el presentado en la presente tesis, en bomberos, protección civil, cuerpos de seguridad, Unidad Militar de Emergencias, etc.

Puesta en marcha de guías de emergencia civiles específicas para estas situaciones, que entre otras cuestiones coordinen las actuaciones de los diferentes implicados.

Dotación y adiestramiento de sistemas de detección radiológica de campo para cuerpos de intervención, detección, medida e identificación de radiaciones ionizantes y radionucleidos.

Dotación a los cuerpos de emergencias de sistemas para descontaminación de personas, equipos y lugares, complementados con sistemas para el control de residuos contaminados.

Adecuación real de sistemas que permitan ante una situación de gran demanda, atender en la red de hospitales públicos a posibles contaminados radiológicos y sistemas de seguimiento epidemiológicos posteriores.

Crear programas de difusión entre la población, que explique este tipo de incidentes así como su alcance y las normas a seguir en caso de que se produzcan, realizar simulacros y campañas por radio y televisión. Enseñar a los encargados de dar de este tipo de información tanto en la situación normal como de emergencia de cómo realizar esta tarea con el máximo aprovechamiento y convicción del ciudadano.



## **7. ANEXOS**



## **ANEXO I: ARMAS NUCLEARES/RADIOLÓGICAS**

### **6.1.1. Armas Nucleares principios físicos**

Tal y como se comento en la introducción de la presente Tesis, el uso de armas nucleares actualmente se destina a supuestos tácticos o estratégicos (Paine, Christopher et al, 1997), en relación a estos se utilizaran diferentes armas, de diferentes potencias, con diferentes características y en determinados objetivos, por ejemplo de uso táctico, el uso de una bomba de fisión de un kilotón par atacar una concentración de una división acorazada, mediante una explosión en superficie y nocturna, desde una pieza de artillería de gran calibre. Ejemplo de uso estratégico, el uso de un misil intercontinental de múltiples cabezas (cientos de kilotonnes) disparado desde un submarino Trident a varios miles de kilómetros de la ex unión soviética contra la ciudad de Moscú, en un ataque combinado (Cochran, Thomas, 1984).

Cuando se trata de la lucha antiterrorista, pese a que determinados gobiernos justificarían el uso de este tipo de armas para la erradicación de este tipo de elementos, sus especiales características de diseminación geográfica e incluso urbana, no parece que haga posible su uso gubernamental, sin embargo y como mas adelante hablaremos, si que es posible el que estos grupos terroristas hagan uso de armas atómicas sencillas o lo que es mas probable de armas radiológicas (bombas asimétricas) (Arkin, William et al, 1997).

### **6.1.2. Generalidades:**

Las bombas convencionales, se diseñan para causar daño por la liberación de una gran cantidad de energía en un corto intervalo de tiempo, esta energía sale de una reacción química que reagrupa átomos para formar nuevas moléculas, la cantidad de energía emitida en la explosión es proporcional a las energías de enlace de las moléculas. En las armas nucleares, la explosión cambia a los propios átomos y crea nuevos. Las energías de enlace de los átomos son muy superiores a las de las moléculas, de esta manera, un kilogramo de Plutonio puede tener la misma fuerza explosiva que 15 millones de kilogramos de TNT.

Hay básicamente dos clases de bombas atómicas, las de fisión y las de hidrógeno o fusión (Hansen, 1995).

### **6.1.3. Bombas de fusión**

Los isótopos del hidrógeno, deuterio y tritio, son fusionados para formar isótopos más pesados, liberando el proceso una enorme cantidad de energía, este es el mecanismo de funcionamiento del sol y requiere la presencia una enorme temperatura y presión, esto se conseguirá provocando una explosión que dispara una reacción de fisión. Básicamente, una bomba de hidrógeno utiliza el calor y la energía liberados por la fisión de ciertos isótopos de elementos pesados como uranio-235(U-235), o plutonio-239(Pu-239) para comprimir y elevar la temperatura de un gas, generalmente deuterio

(D) o tritio (T), e iniciar una reacción de fusión. Esto es, comunicarle a los átomos energía suficiente para lograr que sus núcleos choquen entre sí formando uno o más nuevos núcleos y liberando una gran cantidad de energía (Simon et al, 1991).

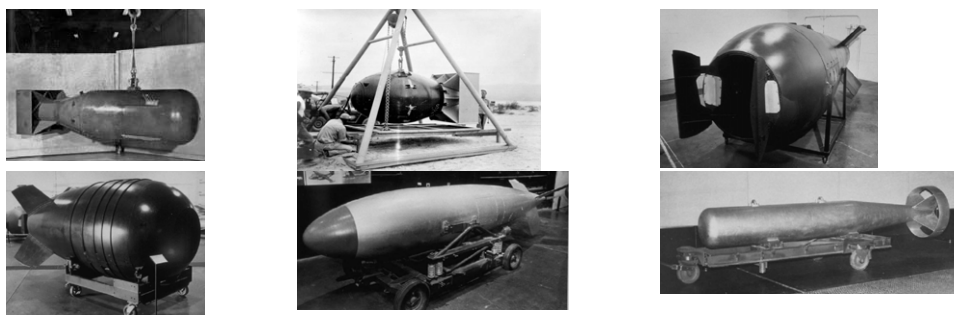
Se puede dividir el sistema en dos etapas: la primera, generalmente llamada primaria, puede considerarse una bomba atómica en sí; y la segunda, es el combustible de fusión y todos los elementos complementarios para lograr que la reacción se produzca.

La primaria consiste en una masa subcrítica de uranio<sup>235</sup> o plutonio<sup>239</sup> en forma de una esfera cuyo centro es hueco, rodeado de un material reflector de neutrones (para evitar que escapen neutrones libres de la superficie), y a la vez rodeado por una capa de explosivos convencionales.

Al detonar estos explosivos, dirigen la honda expansiva hacia adentro comprimiendo el material fisionable a más de 400000 atmósferas. A esta presión, los átomos se acercan entre sí a tal punto que el sistema pasa a un estado supercrítico, manteniéndose así por 4 microsegundos, aproximadamente.

La reacción de fisión comienza en el momento de máxima compresión, aunque un 30% de la energía es producida incluso después que el sistema haya pasado al estado subcrítico.

El sistema ideado por Edward Teller y Stanislaw Ulam aprovecha los rayos X liberados por la primaria, que constituyen el 80% de la energía total liberada y la primera en liberarse, para comprimir una masa de combustible de fusión físicamente separada de la primera etapa. Estos rayos viajan a unos 1000 Km/seg, mucho más rápido que la honda expansiva del núcleo, por lo que todos los procesos que se dan luego de que estalle la primera etapa tienen casi una eternidad antes que la bomba se destruya a sí misma (Glasstone et al, 1977).



*Imágenes de diferentes bombas atómicas*



El combustible de fusión está contenido en un cilindro de material denso, como uranio o tungsteno, con una barra de material fisible (Pu-239), llamado “spark plug”, (bujía), que cruza todo el recipiente por el centro.

Los rayos X provenientes del núcleo se expanden dentro del casco de la bomba comprimiendo la cápsula de combustible a 1/30 de su tamaño normal.

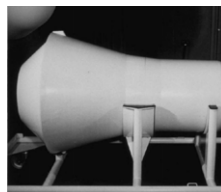
A esta presión, la barra de plutonio aumenta su densidad hasta alcanzar un estado supercrítico. Debido a la temperatura, hay un intenso flujo de neutrones provenientes del hidrógeno que comienzan una reacción en cadena en la barra de plutonio, lo que produce alrededor de ésta una temperatura suficiente para iniciar una reacción de fusión capaz de automantenerse.

La temperatura alcanzada en la fusión es de unos 300 millones de grados Kelvin, mucho más que la producida por la fisión.

#### 6.1.4. Física de armas de fisión

La fisión nuclear ocurre cuando los núcleos de algunos isótopos de elementos pesados como uranio altamente enriquecido o plutonio, capturan neutrones, se rompen formando otros núcleos más ligeros y liberan energía y otros neutrones que mantienen la reacción (“The Atomic Bombings of Hiroshima and Nagasaki”, 1946).

Generalmente el neutrón incidente y el núcleo blanco forman un nuevo núcleo, que permanece por poco tiempo en un estado excitado y luego decae. El tiempo de vida de un núcleo excitado es aproximadamente de  $10E-16$  s., que si bien es un período de tiempo tan corto que el núcleo excitado no puede ser observado directamente, es mucho mayor que el tiempo que tarda la partícula incidente en atravesar una distancia nuclear, que es de  $10E-21$  s.



*Imágenes de ojivas nucleares, despieces y munición táctica, diseñadores y ensamblajes.*



El núcleo excitado decae en dos nuevos núcleos de masa intermedia y neutrones adicionales (un promedio de 2,52 para el uranio-235 y 2.95 para el plutonio-239), liberando 200 MeV de energía. Si en promedio un neutrón de cada fisión es capturado y produce una nueva fisión, entonces se produce una reacción en cadena que se auto mantiene. Si en promedio más de un neutrón de cada fisión produce otra fisión, el número de neutrones y la cantidad de energía liberada aumentarán a ritmo exponencial.

Dos condiciones son necesarias para que la fisión pueda ser usada para crear una explosión poderosa: 1) El número de neutrones que escapan a la fisión (por ser capturados sin producir la reacción o por escapar de la superficie de la masa fisiónable) debe ser mantenido lo más bajo posible; y 2) la velocidad de la reacción debe ser extremadamente rápida. Una bomba atómica funciona en una carrera contra sí misma: para consumir la mayor cantidad de combustible antes que el resto de la bomba se destruya por la misma energía liberada. La manera en que se solucione este problema determina su eficiencia. Una bomba mal diseñada, o con fallas en su funcionamiento, solo liberará una pequeña fracción de su energía potencial.

#### **6.1.5. El proceso de fisión**

El núcleo de un átomo puede interactuar con un neutrón de dos formas distintas: Puede producirse una reacción de dispersión, desviando el neutrón en una dirección diferente, o puede capturar el neutrón, lo que afecta al núcleo de diferentes formas la absorción y la fisión son las más importantes. La probabilidad de que un determinado núcleo disperse o capture un neutrón está determinada por su sección transversal de dispersión y de captura. Esta última se puede dividir a su vez en la sección transversal de absorción y la sección transversal de fisión.

La estabilidad de un núcleo atómico depende de su energía de enlace. Cuando un neutrón o un protón son capturados por un núcleo, este reordena su estructura. Si se libera energía en este proceso, la energía de enlace disminuye. Si se absorbe energía, la energía de enlace aumenta.

Los isótopos importantes para la liberación de grandes cantidades de energía a través del proceso de fisión son el uranio-235, plutonio-239, y uranio-233. La energía de enlace de estos tres isótopos es generalmente más baja que la energía cinética normal de los neutrones producidos en las fisiones, por lo que al producirse una reacción de

captura el núcleo ya no es estable y debe liberar el exceso de energía o separarse en dos o tres núcleos residuales. Como la fisión se logra mas fácilmente con neutrones de baja energía cinética, el proceso se denomina “fisión lenta”.

Por el contrario, el isótopo más abundante U-238 posee una energía de enlace mayor que los isótopos mencionados anteriormente, por lo que se necesitan neutrones con energía cinética mayor que 1 MeV para lograr la fisión. Por esto la reacción se denomina “fisión rápida”.

Los isótopos fisionables con neutrones lentos tienen una alta sección transversal de fisión para neutrones de cualquier energía, mientras que la sección transversal de absorción es relativamente baja. Isótopos fisionables con neutrones rápidos tienen una sección transversal de fisión nula para neutrones por debajo de cierto valor umbral, pero por encima de este, la sección transversal de fisión sube rápidamente.

La cantidad de neutrones con respecto a la de protones en un núcleo atómico tiende a aumentar con el número atómico del elemento. Elementos más pesados requieren mas neutrones para estabilizar el núcleo. Cuando el núcleo de un elemento pesado como el uranio ( $Z=92$ ) es desintegrado, los núcleos residuales, teniendo un numero atómico bajo, tendrán un exceso de neutrones, los cuales son liberados rápidamente por los núcleos excitados. La relación entre los números atómicos de los núcleos residuales generalmente es de un núcleo con  $Z$  cerca de 95 y otro con  $Z$  cerca de 135. El número de neutrones liberados varia de cero a seis o más, y su energía cinética de 0,5 MeV a mas de 4MeV, siendo lo más probable 0,75MeV. El promedio es de 2MeV

En cada fisión se liberan aprox. 200MeV. Esta energía se distribuye de la siguiente manera:

170 MeV: energía cinética de los productos de la fisión;

5 MeV: energía cinética de los neutrones de la fisión;

15 MeV: energía de las partículas beta y rayos gamma;

10 MeV: energía del neutrino liberado en los decaimientos beta de los productos de la fisión.

Toda la energía cinética es liberada al ambiente instantáneamente, como la mayoría de los rayos gamma. El resultado es 180MeV de energía disponible para generar una explosión nuclear.

#### **6.1.6. Criticidad**

Un neutrón que incide sobre la superficie de un material fisionable tiene mas probabilidades de producir una fisión que de ser absorbido en una reacción

improductiva. Cuando la proporción en que se encuentra el isótopo fisionable es baja, la mayoría de los neutrones libres son absorbidos por núcleos no fisionables o escapan de la superficie del material. Pero cuando esta proporción es alta, y el material es lo suficientemente grande y compacto, el sistema se denomina “masa crítica”, en la que a partir de pocos neutrones se puede producir una reacción en cadena capaz de auto mantenerse.

Las masas críticas para esferas descubiertas (sin ningún tipo de barrera que devuelva los neutrones al interior de la masa) de distintos materiales son:

U-233 : 16Kg

U-235 : 52Kg

Pu-239 : 10,6Kg

Factor tiempo de la reacción

El tiempo que tarda un neutrón desde que es emitido hasta causar la fisión depende de su velocidad y de la distancia que recorra antes de ser capturado. La distancia promedio se denomina CLM (camino libre medio). En materiales fisionables a densidad normal, el CLM para fisión es de aproximadamente 13 cm para neutrones de 1 MeV (la energía típica para causar una fisión). Estos neutrones viajan a  $1,4 \cdot 10^9$  cm/seg (10 nanosegundos). El CLM para dispersión es sólo de 2,5 cm, por lo que en promedio un neutrón será dispersado 5 veces antes de causar una fisión.

Los valores de CLM para neutrones de 1 MeV son:

Isótopo	Densidad	C.L.M.
U-233	18,9	10,9
U-235	18,9	16,5
Pu-239	19,4	12,7

Esto muestra que la fisión procede más rápido en algunos isótopos que en otros. La velocidad de multiplicación puede ser calculada por el coeficiente de multiplicación  $k$ , dado por:

$$k = f - (lc - le)$$

donde  $f$  = promedio de neutrones generados por fisión;  $lc$  = promedio de neutrones que no son capturados;  $le$  = promedio de neutrones que escapan del sistema.

Si  $k = 1$ , el sistema es exactamente crítico y una reacción en cadena se automantendrá, aunque a un ritmo constante. Si  $k > 1$ , entonces el sistema es

supercrítico y la reacción aumentará continuamente. Para hacer una bomba eficiente,  $k$  debe ser lo más alto posible, generalmente cercano a 2 cuando la reacción comienza.

En una reacción en cadena, la generación cero tiene un neutrón, la generación 1 tiene 2 neutrones, la generación dos tiene 4 neutrones, etc. Hasta que, por ejemplo,  $2 \cdot 10^{24}$  átomos hayan sido desintegrados, lo que produce 20 kilotones de energía. La fórmula para esto es: número de átomos desintegrados =  $2E(n-1)$ , donde  $n$  es el número de generaciones.

Si  $2 \cdot 10^{24} = 2E(n-1)$ , entonces  $n = \log_2 (2 \cdot 10^{24}) + 1 = 81,7$  generaciones. Es decir, que toma aproximadamente 82 generaciones para completar el proceso de fisión para una bomba de 20 Kt, si la reacción comienza de un solo neutrón.

Este cálculo es una útil simplificación, pero el proceso de fisión no procede por etapas separadas, en la que una termina antes que comience la siguiente. Es un proceso continuo: mientras unos núcleos son desintegrados por neutrones de la generación anterior, otros son desintegrados por neutrones de varias generaciones anteriores.

Tanto el número de neutrones presentes en el sistema como el número de fisiones que se han producido desde que comenzó la reacción, aumentan a una velocidad proporcional a  $e^{k(t/g)}$ , donde  $g$  es el tiempo de duración de cada generación (desde que el neutrón es emitido hasta que es capturado), y  $t$  es el tiempo transcurrido.

Si  $k = 2$ , entonces un neutrón se multiplicará a  $2 \cdot 10^{24}$  (y desintegrando la misma cantidad de núcleos) en aproximadamente 560 nanosegundos, rindiendo 20 Kt de energía. Esto es un tercio menos tiempo que el cálculo aproximado anterior. Debido al crecimiento exponencial de la reacción, en cualquier punto de ésta el 99% de la energía habrá sido liberada en las últimas 4,6 generaciones. Es una aproximación razonable pensar en las primeras 53 generaciones como un período de latencia que lleva a la actual explosión, que sólo toma 3-4 generaciones.

### **6.1.7. Principios básicos del diseño de armas de fisión**

Las principales cuestiones que se deben resolver para construir un arma de fisión son:

1. Mantener el material fisionable en estado subcrítico antes de la detonación;
2. Llevar el material fisionable a un estado supercrítico manteniéndolo libre de neutrones;
3. Introducir neutrones dentro de la masa crítica cuando está en su configuración óptima.
4. Mantener la masa entera hasta que una considerable cantidad de material haya sido fisionado.

Resolver los puntos 1, 2 y 3 juntos es extremadamente complicado debido a la presencia natural e inevitable de neutrones. Aunque los rayos cósmicos generan neutrones en pequeña cantidad, casi todos provienen del mismo material fisionable a través del proceso de decaimiento radiactivo. Debido a la poca estabilidad de los núcleos de elementos fisionables, éstos pueden emitir partículas espontáneamente para llegar a las configuraciones de energía más bajas. Es decir, que el mismo material emite neutrones periódicamente.

El proceso de armar la masa crítica debe tomar un tiempo menor que el intervalo promedio de fisiones espontáneas para obtener una probabilidad razonable de que el arma funcione. Esto es bastante difícil de lograr debido al gran cambio de reactividad necesario para pasar de un estado subcrítico a uno supercrítico. El tiempo necesario para elevar el valor de  $k$  desde 1 al valor máximo de 2 se denomina tiempo de inserción de reactividad, o simplemente tiempo de inserción.

Es todavía más complicado debido al problema de multiplicación de neutrones en estado subcrítico. Si una masa subcrítica tiene un valor de  $k$  de 0,9, un neutrón presente en la masa crea una reacción en cadena que muere en un promedio de 10 generaciones. Si la masa está muy cerca del estado crítico, digamos  $k = 0,99$ , entonces cada fisión espontánea creará una reacción de 100 generaciones. Esta presencia de neutrones en la masa subcrítica reduce en gran medida el tiempo disponible para el ensamblaje y obliga a que la reactividad de la masa sea aumentada desde un valor menor de 0,9 a un valor de 2 o cercano a 2 dentro de ese tiempo.

Dividir una masa supercrítica en dos partes idénticas y unir las rápidamente es poco probable que funcione, ya que ninguna de las partes tendrá un valor de  $k$  suficientemente bajo, ni el tiempo de inserción será suficientemente rápido con las velocidades posibles (Smyth, Henry de Wolf, 1945).

#### **6.1.8. Técnicas de armado**

La clave para alcanzar los objetivos 1 y 2 es aclarada por el hecho de que la masa crítica (o supercrítica) de un material fisionable es inversamente proporcional al cuadrado de su densidad. Si conseguimos idear una estructura de material fisionable cuya densidad pueda ser aumentada rápidamente, lograríamos el gran aumento de reactividad necesario para crear una explosión poderosa.

Se han ideado dos sistemas para resolver esto: la implosión, más efectiva, y “gun assembly”, algo así como “armado tipo bala”, de menor rendimiento.

#### **6.1.9. Implosión**

La idea de este sistema es comprimir una masa fisionable subcrítica esférica, o a veces cilíndrica, usando potentes explosivos especialmente diseñados. La implosión funciona iniciando la detonación de los explosivos en su superficie externa, por lo que la honda expansiva se mueve hacia adentro. Un diseño cuidadoso permite crear una

honda suave y simétrica. Esta honda se transmite al núcleo fisionable comprimiendo y aumentando su densidad hasta alcanzar el estado crítico.

La implosión puede ser usada para comprimir tanto núcleos sólidos de material fisionable, como también núcleos huecos, donde el material fisionable forma un armazón. Es fácil ver cómo la implosión puede aumentar la densidad de un núcleo hueco, simplemente colapsa la cavidad. Sin embargo, potentes hondas de choque pueden comprimir metales sólidos también. Un explosivo de alto poder puede crear una honda de 400.000 atm de presión, aunque algunas técnicas balísticas pueden aumentar esto varios cientos de veces. Esta presión puede acercar los átomos entre sí y aumentar la densidad a dos veces lo normal o más (el límite teórico para una honda de choque en un gas monoatómico ideal es de cuatro veces; el límite práctico siempre es menor).

La honda convergente de una implosión puede comprimir uranio o plutonio sólido en un factor de 2 ó 3. La compresión ocurre muy rápidamente, permitiendo un tiempo de inserción en el orden de 1 a 4 microsegundos. El período de máxima compresión dura menos de 1 microsegundo.

Además del principal objetivo que es alcanzar el estado crítico, la implosión provoca otro efecto importante. El aumento de la densidad reduce el CLM de los neutrones, el cual es inversamente proporcional a la densidad. Esto reduce el período de tiempo entre cada generación y permite una reacción más rápida que puede progresar más antes que el sistema se desarme. Por lo tanto la implosión aumenta considerablemente la eficiencia de una bomba.

Las principales ventajas de la implosión son:

1. Alta velocidad de inserción. Esto permite el uso de materiales con alto grado de fisiones espontáneas como el plutonio.
2. Se alcanza una alta densidad, lo que permite construir una bomba con relativamente poca cantidad de material.
3. Potencial para diseños livianos. En los mejores diseños, el núcleo puede ser comprimido con poca cantidad de explosivos.

La principal desventaja es su complejidad y la precisión necesaria para hacerla funcionar. En diseño de armas de implosión hace necesario extensas investigaciones y pruebas, y necesitan maquinaria y electrónica de alta precisión.

#### **6.1.10. Efectos de las explosiones nucleares**

Cuando sucede una explosión nuclear, los efectos que ocurren dependerán en gran medida del tipo y la potencia de la bomba, del lugar de la detonación (aire, suelo, sobre agua), de las condiciones atmosféricas, de la orografía y de las particularidades del objetivo (Rhodes, Richard, 1986), en general se pueden resumir en los siguientes efectos:

#### 6.1.10.1.1. Radiación/efecto térmico

Cuando la explosión se hace sobre la superficie terrestre, se produce el efecto denominado como “ground burst”, todos los materiales del suelo en esa zona, se vaporizan, se consume el oxígeno y forman una nube mezclados íntimamente con los materiales radiactivos del artefacto, esta bola de fuego despiden un tremendo destello luminoso procedente de la absorción de los rayos x producidos, emitiendo radiaciones infrarrojas, ultravioletas y visibles y puede llegar a cegar al observador directo sobre todo de noche por la dilatación de las pupilas, emite una tremenda onda de calor, que vaporiza materiales cerca del punto de impacto y provoca a su paso incendios y quemaduras que pueden llegar a ser de tercer grado a 13 kms del punto cero, y se emiten durante el primer minuto importantes emisiones de radiaciones gamma acompañadas de neutrones. Si la explosión esta hecha sobre las nubes, parte de la radiación térmica será absorbida por estas.

Los materiales vaporizados y contaminados radiactivamente (emisiones alfa-beta-gamma), ascienden por efecto de la succión (gases a altas temperaturas) hasta la estratosfera en ocasiones y son conducidos por las corrientes de aire, la contaminación va depositándose en la dirección de los vientos, en función de su granulometría, llegando a contaminar enormes extensiones de terreno a grandes distancias (“fall out”) (Rhodes, Richard, 1995).

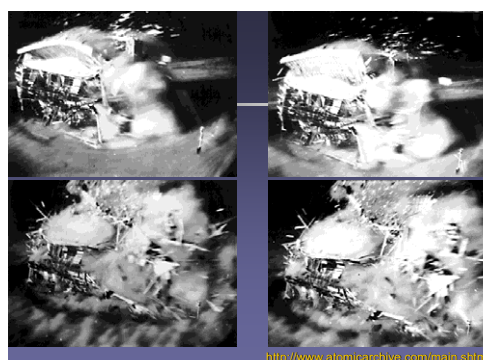
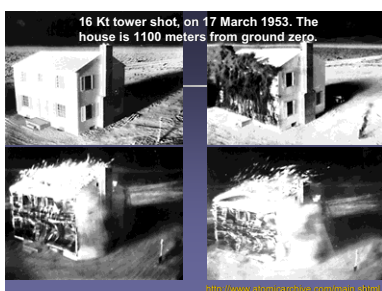


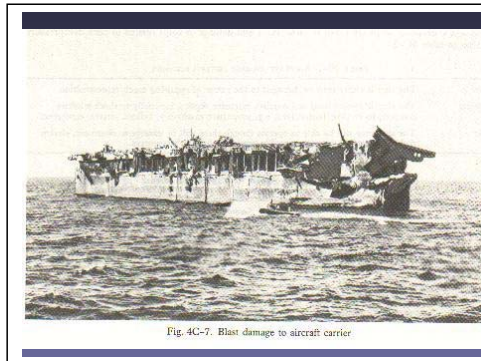
*Explosiones nucleares, sobre agua, suelo, en el aire.*



### 6.1.10.1.2. Onda de choque

La tremenda explosión provoca una onda de choque de enorme valor que se desplaza a gran velocidad acompañada de vientos huracanados, por ejemplo un arma nuclear de 1 megatón, equivale al poder explosivo de mil de toneladas de TNT, estos efectos provocan el arrastre de materiales y la destrucción total o parcial de edificios por colapso de sus estructuras, a la onda de presión positiva que puede alcanzar valores de 200 psi a 500 mts., a 8 kms. del “punto cero” (lugar del impacto) se producirán vientos de 270 kms./h y sobrepresiones de 5 psi., seguirá una de signo contrario (de succión) que acabara la misión destructiva de la primera. Las sobrepresiones de 30 psi hacen estallar los pulmones en los seres humanos, presiones de 15 psi destruyen las casas de ladrillos y lanzan a los objetos incluidos a los seres humanos como proyectiles a varios cientos de kms./h. En Hiroshima se utilizo una bomba de 12 kilotones y mato por efecto combinado radiación-térmico-presión a mas de trescientos mil personas, hoy en día los artefactos nucleares se fabrican en el orden del kilotón al megatón, siendo los mas usuales los de 100 kilotones (usos táctico o estratégicos).





Imágenes de efectos de las explosiones nucleares en edificios y naves, imágenes de Hiroshima y Nagasaki.



### 6.1.10.1.3. Pulso electromagnético

Cuando la explosión nuclear sucede, la interacción prácticamente instantánea de la radiación con la materia, provoca la emisión de ondas electromagnéticas que pueden alcanzar enormes proporciones, estas ondas generarían en los conductores eléctricos energías del orden de un Julio para una detonación de un megatón. Solo las fracciones de un Julio son capaces de dañar irreversiblemente los semiconductores de los circuitos electrónicos, de esta manera se verían afectados sistemas vitales para la transmisión de información, detección y seguimiento, informática, sistemas de navegación, igniciones de los vehículos con motor de explosión, etc. Por esta razón los sistemas militares vitales se “blindan y protegen” contra estas extracorrentes, en algún caso se vuelven a utilizar símiles de las antiguas válvulas electrónicas que no se ven afectadas por este fenómeno, los semiconductores de silicio son los mas sensibles a estos fenómenos raidoinducidos, por el contrario los semiconductores fabricados a base de arseniuro de galio son muy poco sensibles al mismo.

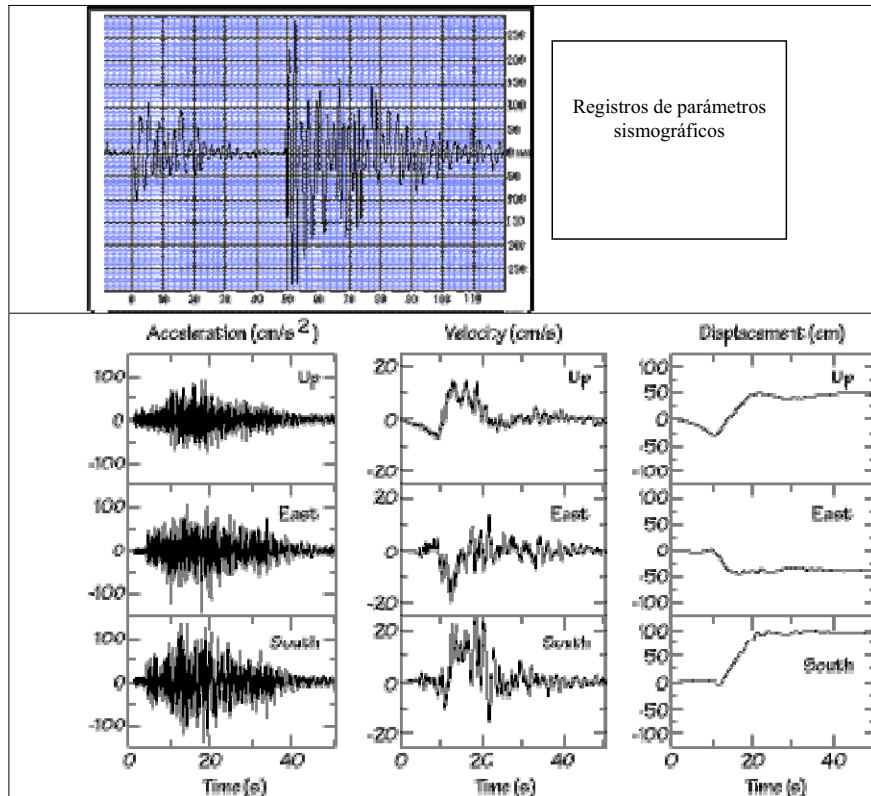
Se considera por parte de los expertos que los prolegómenos a un ataque nuclear a gran escala, comenzarían con detonaciones de armas nucleares a gran altura, de manera que se produjera este pulso electromagnético y colapsara sus sistemas vitales de alerta, defensa y reacción.



*Hiroshima, efectos sobre tendidos eléctricos-telefónicos.*

#### **6.1.10.1.4. Temblores de tierra**

Cuando la explosión del arma nuclear se efectúa sobre la superficie terrestre, todo el material vaporizado y arrastrado por efecto del viento, forma en el punto cero un cráter y se transmite por el suelo una onda sísmica de intensidad apreciable, que puede dañar estructuras compactas a distancias cercanas de la explosión incluso si estas están enterradas como es el caso de los refugios, por lo que deberán diseñarse estos con capacidad elástica de absorción de ese fenómeno. La transmisión de la onda sísmica dependerá del tipo de explosión y del terreno, sus efectos en las inmediaciones son devastadores sobre las infraestructuras soterradas. Las estructuras anti-sísmicas podrán absorber esta transmisión de energía tridimensional.



#### **6.1.10.1.5. Efectos globales de una guerra nuclear**

Los efectos individualizados de las explosiones nucleares ya se han comentado, en este apartado, se trata de hacer una breve descripción de los efectos combinados de un conjunto de detonaciones nucleares efectuadas en un breve período de tiempo (una semana) tal y como sería el escenario de un conflicto nuclear, efectos que se extenderían más allá de las zonas afectadas, sumándose y amplificándose hasta alcanzar magnitudes globales (Hansen, Check, 1995).

##### **6.1.10.1.5.1.1. Hipótesis de trabajo**

Las predicciones respecto de las consecuencias de este tipo de conflictos, se formulan en base a las especulaciones sobre estrategia de alto nivel, tratamiento de datos experimentales de muy reducido alcance y extrapolaciones que hacen del estudio un ejercicio de predicciones y consecuencias que aunque limitado en su valor científico, posee un valor testimonial cuanto menos interesante.

La primera cuestión sería plantearse como sería una guerra nuclear, en este punto y según los expertos cabría contemplar varias posibles hipótesis, desde un uso generalizado de armamento nuclear que devastara al enemigo y lo dejara sin capacidad de respuesta, hasta un ataque puntual que sirviera de disuasión, el primer caso sería lo esperable cuando se miden dos potencias de similares características en una situación crítica sin retorno y el segundo supuesto sería cuando el adversario es incomodo pero no representa una amenaza total para la potencia.

Lo cierto es que cuando se utiliza por primera vez este tipo de ingenios, lo que pueda pasar a continuación es una gran incógnita, la respuesta su extensión y la procedencia de la misma dependerían de un conjunto de parámetros que tendrían que ver con la situación hegemónica política del momento, el propio país agredido o sus protectores podrían desencadenar la respuesta limitada o extensa según su capacidad y sus objetivos, en cualquier caso los efectos de ese mínimo ataque nuclear desencadenarían una situación muy delicada en la frágil estructura de poderes militares y parte de sus consecuencias afectarían al entorno.

Se estima que el 99% de la capacidad nuclear en lo que a armamento se refiere se reparte entre los EE.UU y Rusia alcanzando los 15.000 megatonnes (un megatón (Mt) equivale a un millón de toneladas de TNT), la bomba de Hiroshima tenía 12 kt y fue capaz de destruir la ciudad y exterminar a unas 150.000 personas (Rhodes, Richard, 1995).

El arma tipo de los EE.UU. suele tener sobre 0'5 Mt., llegando a los 20 Mt., la mayor explosión nuclear detonada fue llevada a cabo por la ex URSS. con 60 Mt. en Novaya Zemlya (URSS) el 30 de octubre de 1961. Se pueden distinguir dos tipos de armas nucleares según su destino:

- Armas nucleares estratégicas: suelen ser las de mayor potencia, se lanzan desde silos en tierra, submarinos, aviones estratégicos con grandes distancias de alcance y hacia objetivos muy importantes desde el punto de vista militar, estratégico o civil.
- Armas nucleares tácticas o de teatro: suelen ser de pequeña potencia (decenas de kilotones) y son usadas por la artillería de campaña o baterías de misiles autotransportadas, sus objetivos son mas limitados que los anteriores.

Otra forma de clasificar las armas nucleares son por sus principios físicos de funcionamiento (se han explicado con detalle al comienzo de este tema):

- Fisión: Los núcleos de los átomos pesados de uranio, plutonio se fisioan liberando gran cantidad de energía. Es el caso de una bomba básica, como las que se lanzaron sobre Hiroshima o Nagasaki. Se las denomina bombas A.
- Fisión-Fusión: perfeccionando las anteriores se llega a la conclusión de que las altas temperaturas generadas en la fisión pueden dar lugar a una fusión (unión) de átomos ligeros (deuterio, tritio) para formar helio. Aunque la energía liberada por la fusión es menor para cada unión de partículas que la producida por la fisión, para una misma masa de material existen muchísimas más partículas ligeras que pesadas. Así, para 0'5 Kg. de isótopos de hidrógeno se liberan 20 Kt., tres veces más que con el uranio. A estas bombas se las denomina termonucleares por la cantidad de calor necesario para producir la fusión; también se llaman bombas H.
- Fisión-Fusión-Fisión: las dos primeras fases de este arma son como las de una bomba H normal, la diferencia es que los neutrones rápidos generados en la fusión chocan con una cubierta exterior de U-238 o uranio natural generando otra detonación que libera aún más radiactividad.
- Bomba de neutrones: es un caso modificado de bomba H. En una bomba H normal el 50% de la energía es producida por la fusión y el otro 50% por la fisión. En una bomba H "limpia" o de neutrones menos del 50% de la energía es debida a la fisión, por lo que la radiactividad duradera se reduce, se ha llegado a rebajar este porcentaje hasta el 5%. Así, una pequeña bomba de neutrones produce poca destrucción por la onda expansiva o el pulso térmico, pero libera gran cantidad de neutrones que bombardean los alrededores induciendo radiactividad a los materiales con los que chocan durante un corto periodo de tiempo (48 h.), produciendo daños a las personas sin destruir el entorno. Es por eso que se entiende a estas bombas como bombas tácticas.

En caso de guerra nuclear total sería prácticamente imposible la destrucción del arsenal atómico ya que muchas de sus instalaciones sufrirían por efectos del ataque su inutilización, así es que una hipótesis de trabajo suele establecer como potencia utilizada en este tipo de conflicto generalizado entre los 5.000 y 7.000 megatonnes repartidos al 50% entre artefactos de fusión y fisión. Casi todo esta mortífera carga utilizaría como blanco el hemisferio norte pero sus efectos como ya estudiaremos se extenderían por todo el planeta.

Los blancos de ataque estarían relacionados con las diferentes maneras de inutilizar al enemigo:

Ataque contra objetivos militares (ataques antifuerzas) tales como aeropuertos estratégicos, silos de misiles, bases navales, arsenales, centros de comunicaciones, estaciones de alerta... y todo soporte para un ataque o defensa militar. Muchos de estos objetivos están en las inmediaciones de objetivos militares especialmente protegidos, denominados duros (silos de misiles, bunkers o instalaciones enterradas) que necesitan de una gran potencia detonada a ras de suelo o subterránea para producir daños significativos a las instalaciones.

Ataque contra objetivos estratégicos civiles (ataques antivalores o blandos) , las industrias de soporte de guerra, transporte, refinerías, instalaciones de energía, emisoras de radio o TV, centrales de producción eléctrica tales como la centrales nucleares (en teoría protegidas por pactos internacionales), centros de investigación y sanitarios, almacenamientos de sustancias peligrosas, abastecimientos de alimentos, estructuras del poder civil etc. una inmensa mayoría de estos objetivos se encuentran en el entorno metropolitano de las grandes ciudades, a los efectos materiales habría que añadir de manera muy especial los psicológicos sobre la población.

Considerando que en el mundo existen no mas de 2.500 ciudades con más de 100.000 habitantes, significaría que pueden ser un objetivo alcanzable para el arsenal atómico actual, esto supondría según estimaciones de la ONU un número de víctimas alrededor de los 1100 millones y otros tantos heridos que tendrían muy pocas posibilidades de sobrevivir a corto plazo. La mitad de la población humana moriría en unos días.

Se han sugerido varios modelos de guerra atómica, tomando éstos como ejemplos teóricos para estudiar los efectos sobre el planeta:

1.- Caso de referencia, ataques antivalores y antifuerzas: 5.000 Mt. detonados en 10.400 explosiones, de los que un 57% serían en superficie y un 20% sobre objetivos blandos.

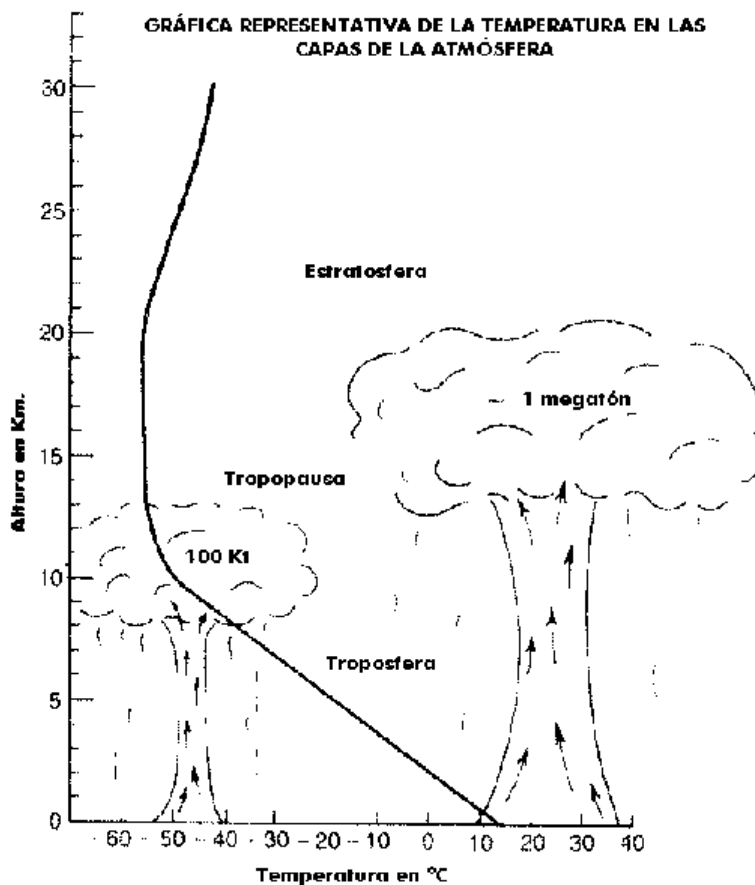
2.- Caso sólo antifuerzas: se supone que no hay grandes incendios al no verse implicadas ciudades, 3.000 Mt de los que un 70% son en superficie, de rangos de entre 1 a 10 Mt.

3.- Caso sólo antivalores: se detonan 100 Mt en las ciudades, la media de potencia en las bombas es de 100 Kt.

4.- Caso grave antivalores y antifuerzas: 10.000 Mt detonados un 15% en superficie, igual cantidad detonada sobre ciudades. La potencia oscila de 0'1 a 10 Mt.

### 6.1.10.1.5.1.2. Repercusión de los efectos primarios

La destrucción de los objetivos duros requiere detonaciones cerca del suelo que producen una pulverización instantánea de todo lo que se halle dentro de la bola de fuego que ascendiendo con el hongo y esta contaminando radiológicamente. La destrucción de ciudades requeriría detonaciones a mayor altura para extender los daños; así, lo que no quede aplastado, volatilizado se incendiara por el pulso térmico . Se estima que en las ciudades industrializadas la cantidad de material combustible esta entre 40 kg/m<sup>2</sup> hasta 200 kg/m<sup>2</sup> en el centro de grandes ciudades. Por tanto las ciudades y sus cercanías se convertirían pronto en grandes incendios que elevarían a la atmósfera gran cantidad de cenizas. En las zonas de impacto (al igual que en Hiroshima) la temperatura bajaría inmediatamente después de la explosión y la oscuridad sería casi total entre los 30 y 60° de latitud norte.





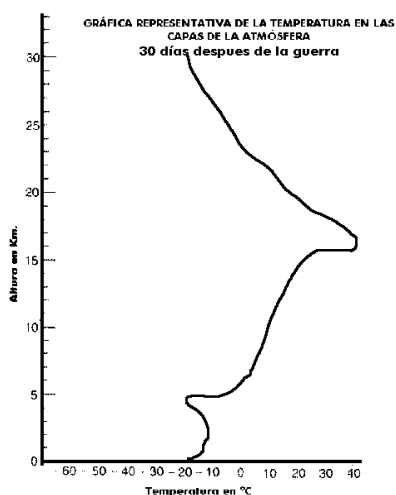
Experimentalmente se ha comprobado que para bombas menores de 100 Kt. las cenizas y polvo radiactivo no se elevan más allá de la estratosfera, de modo que tras unas horas o días cae de nuevo a tierra produciendo la lluvia radiactiva (fall-out).

Para valores mayores de 100 Kt. los polvos microscópicos y cenizas se instalan en la estratosfera, por encima de las nubes a más de 13 km, permaneciendo allí mucho tiempo. Para 1 Mt. la bola fuego se coloca por completo en plena estratosfera, allí su alta temperatura quema el nitrógeno (N) de la atmósfera que ataca químicamente al ozono (O<sub>3</sub>) destruyéndolo (creando óxidos de nitrógeno). De esta manera se perdería la protección contra la radiación ultravioleta que atacaría a los seres vivos

Las columnas de humo producidas por incendios en ciudades se elevarían entre 1 y 7 km., un 5% de ellos serían tempestades de fuego, donde el humo llegarían a los 19 km. (dentro de la estratosfera). En los incendios no urbanos como mucho llegarían a los 5 km., y los de larga duración a los 2 km.

Para el caso de ataque reducido, las partículas debidas a los incendios y detonaciones se colocarán en la estratosfera oscureciendo la luz del sol durante semanas o meses, de modo que la temperatura del planeta bajaría varios grados. Una vez que la atmósfera se vaya aclarando la luz ultravioleta empezará a llegar hasta la superficie terrestre con sus efectos dañinos para la vida residual.

Los efectos globales catastróficos estarían situados en la hipótesis del uso de 100 Mt, repartidos en 1000 bombas de 0.1 Mt, y como veremos son debidos más a las cenizas de los incendios y detonaciones que a otros factores. Esto no significa que un ataque puramente antifuerzas no produciría un desastre climático.



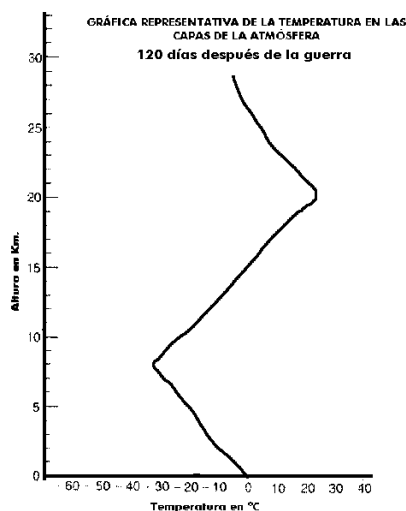
### 6.1.10.1.5.1.3. El invierno nuclear

En 1815 la erupción del volcán Tambora en Indonesia produjo un descenso de 1° C en todo el planeta debido a la proyección de ceniza volcánica a la atmósfera. Los fríos durante el siguiente año dieron en Europa y EE.UU. el nombre de año sin verano. Para hacernos una idea de la magnitud de los que supone ese pequeño cambio, todo el cultivo de maíz en Canadá se perdió. Pequeños cambios globales producen enormes repercusiones locales. Un cambio de 1° C es lo máximo que sufre el planeta en miles de años, durante las glaciaciones las temperaturas bajan hasta 10 °C, pero de manera gradual durante siglos, dando tiempo a las especies a aclimatarse.

En caso de un invierno nuclear la temperatura global baja de manera drástica en días, desde 10°C en el caso más modesto hasta 50°C en el más severo.

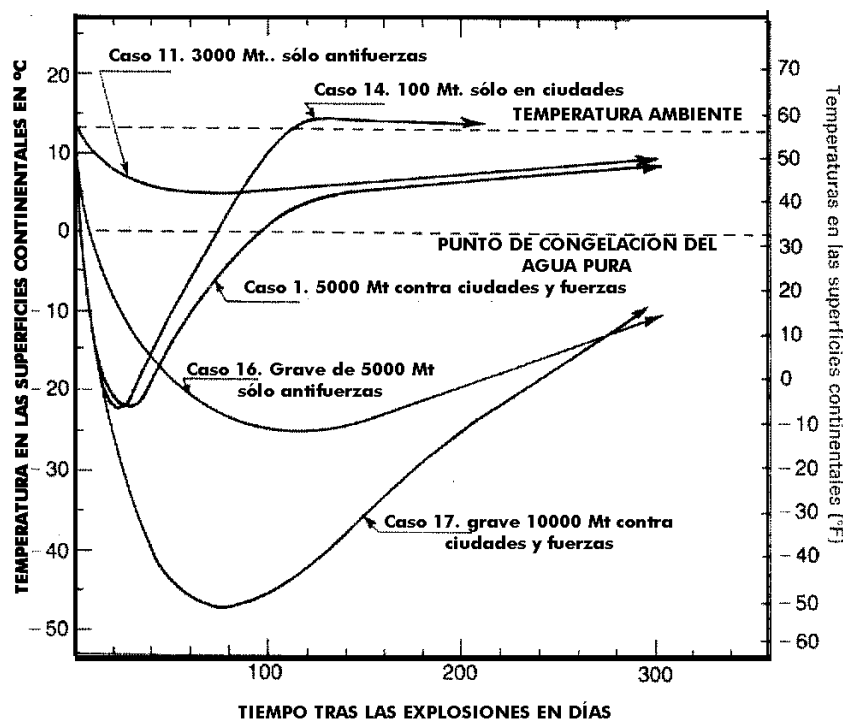
Esto es debido a que las negras cenizas microscópicas producidas los incendios y detonaciones se situarían en la alta atmósfera, libres de la lluvia o corrientes, así que irían cayendo de manera muy lenta mientras en la superficie la oscuridad haría descender la temperatura e impidiendo la fotosíntesis de las plantas. En los casos moderados el efecto duraría algunos meses y en el caso severo mas de un año.

El planeta como ecosistema cerrado se vería afectado en su globalidad si alguno de sus elementos fallara tal y como sería el caso de las plantas por la carencia de la luz solar, si las plantas sucumben, las especies que dependen de ellas también y los depredadores con ellos. Nuestro planeta es una gran célula fotobiológica que convierte la luz del sol en material biológico.



El Sol es el motor físico-químico que mueve y da dinamismo al planeta, ya que gracias a su calor se produce el ciclo del agua, las corrientes atmosféricas y la temperatura necesaria para la vida. Las especies dependemos de los servicios que nos da el planeta a través del Sol: agua potable renovable, composición de la atmósfera, renovación de los nutrientes, eliminación de residuos, generación y conservación de los suelos y una gran biblioteca genética constituida por todas las especies del planeta que habitan cada nicho ecológico y sacan de él el mayor rendimiento.

Un efecto determinante para la destrucción del ecosistema terrestre es el producido sobre las plantas verdes, que son la base de la vida y las más afectadas por el frío y la oscuridad. Es de suponer que las más afectadas serían las menos aclimatadas al frío. Los bosques tropicales serían los primeros en desaparecer, y aunque las plantas de las zonas frías están hechas al frío, un descenso brusco podría ser letal. Una reducción del 5% de la luz solar es suficiente para detener el crecimiento de la planta, y un 10% reduce considerablemente la fotosíntesis. Para el caso de 10.000 Mt la luz se reduciría hasta un 1% durante más de un mes en el hemisferio norte, alcanzando el 50% a los 8 meses. Si la temperatura media del planeta son 13° C descendería hasta -40°C en la parte templada del hemisferio norte durante 4 meses, llegando a -3°C al cabo de un año.



De esto se deduce que la peor de las circunstancias posibles es la de una guerra nuclear en la época de crecimiento vegetal o poco antes, matando entonces prácticamente toda la vegetación del hemisferio norte. Si fuera en la época de aletargamiento el daño sería menor pero siempre enorme, impidiendo que la fase posterior de crecimiento fuera bueno; además, un invierno más frío sí afectaría árboles perennes (por ejemplo los frutales). Sea cuando fuera, los trópicos están acostumbrados a temperaturas prácticamente estables, así que un descenso brusco sería fatal en todos los casos. Los efectos del frío en las costas sería más moderado debido al efecto regulador térmico de los océanos, aunque se verían barridas por tormentas brutales debidas precisamente a esa diferencia de temperatura entre la tierra y el mar.

#### 6.1.10.1.5.1.4. Además del frío y la oscuridad

Un factor muy importante al evaluar los efectos de una guerra nuclear son los sinergismos, es decir, el conjunto es mucho más que la suma de sus partes. Un buen ejemplo es que el sistema inmunológico humano se ve seriamente dañado cuando se superpone la radiación ionizante instantánea y la debida a la ceniza radioactiva como la exposición a la luz ultravioleta. El frío y la oscuridad acabarían con muchos mamíferos y casi todas las aves, así que millones de cadáveres en descomposición facilitarían la aparición de enfermedades que atacarían a los ya de por sí débiles. La ausencia de depredadores haría a los insectos (que son muy resistentes) multiplicarse, consumiendo la poca vegetación que quedase; además, ese aumento de luz ultravioleta (hasta se cuadruplicaría) dejaría ciegos a muchos mamíferos, impidiéndoles ver aún después de que hubiera luz, abocándoles a una muerte lenta. Los sinergismos actúan de manera favorable cuando las cosas van bien, y empeoran las cosas cuando todo va mal.

#### GRÁFICO DE TEMPERATURA GLOBAL ACTUALMENTE (En gris temperatura media inferior a -3°C)



Los óxidos de nitrógeno inyectados a la atmósfera por las bolas de fuego habrían acabado hasta con el 50% de la capa de ozono, que se recuperaría mucho después de que la atmósfera fuera de nuevo transparente. La reacción de las plantas ante un aumento de la luz ultravioleta es el de reducir la fotosíntesis, este efecto se multiplica

por dos o tres si han permanecido largo tiempo en penumbra. De modo que aunque la luz y el calor llenen de nuevo el planeta las plantas supervivientes tardarán meses en volver a producir.

El descenso de las temperaturas causaría un congelamiento del agua continental, salvándose los mares tanto por su concentración de sal como por su efecto atenuante de la temperatura. Así tendríamos ríos y lagos congelados hasta en 1'5 m. Estas variaciones de temperatura detendrían el ciclo del agua, matando tanto lo que se hallara en las aguas congeladas como fuera.

#### **GRÁFICO DE TEMPERATURA GLOBAL. 2 DÍAS DESPUES DE COMENZAR LA GUERRA**



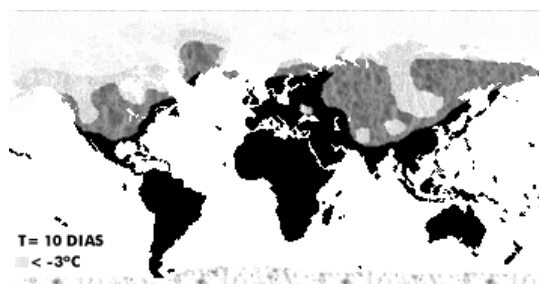
El mar no sufriría apenas por la caída de temperatura, sin embargo la luz es imprescindible para la vida del plancton y algas, que son la base de la vida oceánica, también el aumento de la luz ultravioleta inhibe el crecimiento del fitoplancton. Las tempestades debidas a las diferencias de temperatura tierra-mar harían también difícil la vida a las especies costeras.

##### **6.1.10.1.5.1.5. La lluvia de polvo radiactivo**

Y por si todo lo anterior no era poco, aún queda tener en cuenta que gran parte de ese polvo en suspensión a baja altura es radiactivo. Este caería rápidamente en forma de lluvia radiactiva contaminando con dosis letales la tierra durante las primeras 48 h. Hasta un 30% de las tierras del hemisferio norte recibirían más de 500 rems, acabando con la mitad de los adultos sanos que hubiera. Poca gente sana quedaría tras las primeras horas, así que esta radiación remataría a más del 50% de supervivientes, dejando secuelas a casi todo habitante del planeta: baja resistencia a las enfermedades, alta probabilidad de cáncer, mutaciones y malformaciones. La radiación media de fondo en todo el planeta sería superior a 100 rem y en el hemisferio norte mayor a 200 rem.

La radiosensibilidad varía según las especies, así las aves, los mamíferos y las coníferas son los más sensibles, siendo por lo general más resistentes los organismos más sencillos y de más corto ciclo reproductivo, entre los que se encuentran los que causan enfermedades (virus y bacterias).

#### GRÁFICO DE TEMPERATURA GLOBAL. 10 DÍAS DESPUES DE COMENZAR LA GUERRA



Además las primeras lluvias que llevarían radiactividad a la tierra también arrastrarían los compuestos químicos residuales de los incendios de las ciudades, estos sería un amplio conglomerado de productos tóxicos como cloruros de vinilo, furanos y piroxenos procedentes de los plásticos, textiles, residuos, combustibles... Así la lluvia sería además lluvia ácida concentrada.

Las sustancias radiactivas con las cenizas sedimentadas que cubrirían los campos, calles y edificios sería muy parecidos a los que se ve en las erupciones volcánicas, salvo que este contendría los siguientes elementos durante un determinado tiempo:  $I^{131}$  (8 días),  $Ru^{106}$  (1 año),  $Sr^{90}$  (30 años),  $Ca^{137}$  (30 años) y  $Cs^{130}$  (30 años). Esto daría 500 rems como media en el hemisferio norte durante el primer día, 100 rems hasta el primer mes y 10 rems hasta pasado un año. En el hemisferio sur serían menores los efectos a corto plazo (100 rems el primer mes) pero muy parecidos los de largo plazo.

##### 6.1.10.1.5.1.6. Los supervivientes

Los pozos de petróleo, minas de carbón y turberas continuarían ardiendo durante meses o años, un 5% de la tierra del hemisferio norte sería sólo cenizas. La erosión del

suelo por falta de vegetación causaría inundaciones y avalanchas de barro y despojos. Las aguas y la tierra estarían contaminadas, no habría nada que comer o beber, y lo que quedase estaría seriamente contaminado.

No se puede imaginar el estado psicológico de los supervivientes de una guerra nuclear, pero el pasar de una vida cómoda a la más absoluta soledad y desamparo en semanas (incluso los más desfavorecidos lo verían así) sería para volver a cualquiera loco o por lo menos para caer en la más honda de las depresiones, quizás hasta un estado de postración absoluto en espera de la muerte.

Los que saldrían algo mejor parados serían las especies carroñeras, rodeadas de gran cantidad de cadáveres su número se multiplicaría vertiginosamente. Así la fauna del "día después" serían unas ratas, cucarachas y moscas.

Se piensa generalmente en lo que harían los supervivientes de una guerra nuclear, aunque hemos visto que en realidad no serían muchos por no decir ninguno. Sin embargo, si la guerra fuera pequeña y poniéndonos en el mejor de los casos, la supervivencia sería posible (aunque desagradable) y dependería en gran medida del nivel de destrucción alcanzado. En cualquier caso veremos qué les esperaría, teniendo en cuenta que aunque la guerra se situara sobre todo en el hemisferio norte, el sur se vería también afectado, aunque menos en los efectos más inmediatos, igualmente en los de medio y largo plazo.

Si pensamos en los bancos de semillas y almacenes de grano, veremos que por estar cerca de la ciudad o cultivos seguramente habrían ardido. Las semillas que permanecieran bajo tierra estarían relativamente a salvo, ya que las altas temperaturas debidas a tormentas de fuego las dañarían también. Los medios de transporte de recursos se hallarían casi por completo destruidos

Los supervivientes tendrían que subsistir de lo que ellos mismos pudieran plantar o criar. Tendrían que buscar suelos adecuados y no contaminados, y recurrir a plantar lo que más a mano tuvieran, ya que la variedad genética sería mínima. Hasta que el clima se restableciera el tiempo sería impredecible y extremo, además las plantas necesitan de otras cosas como polinización, microorganismos y ausencia de plagas, así los primeros cultivos darían resultados poco provechosos. Las zonas más afectadas serían los trópicos en donde la pérdida de los ecosistemas haría muy difícil una resurrección de la vida humana. La búsqueda desesperada de recursos o nuevas tierras de cultivo daría como resultado otra agresión al ecosistema ya muy dañado.

Si pensasen en el mar como medio de sustento verían como su producción estaría muy mermada, además las tempestades, mal estado de la mar y falta de combustible para la navegación moderna haría también difícil la subsistencia también las costas.

El hombre actual, en la mayoría de los casos, no conoce ni el medio natural ni cómo alimentarse de él, tampoco las técnicas más rudimentarias la tecnología (como

obtener telas o herramientas), así que aunque los ecosistemas permitieran la vida humana, a duras penas si sabríamos aprovecharla.

La vida sería una vuelta a la prehistoria, en la que la mejor civilización humana se vería reducida a un conjunto de grupos de cazadores-recolectores en las islas del pacífico. Una civilización avanzada tras una guerra nuclear sería imposible ya que nuestros antepasados se sirvieron de recursos que tenían casi al alcance de la mano, así se comenzaron a usar los minerales (carbón, petróleo, cobre...) extrayéndolos de lugares en los que eran accesibles y abundantes. Tales sitios ya no quedan en el planeta, para obtener estos mismos minerales se requieren minas profundas y elaboradas tareas de refinado y purificación. Tras una era del reciclado y uso de materiales sobrantes de la civilización actual ya tan sólo se podría esperar una cultura prehistórica o clásica a lo sumo, la evolución de la humanidad detenida para siempre por sí misma mediante una guerra nuclear.



6.1.10.1.5.1.7. Resumen de efectos en caso de guerra nuclear de 5.000 Mt

EFECTOS	DURACIÓN DE LOS EFECTOS										POBLACIÓN AFECTADA HEMISF. N.	POBLACIÓN AFECTADA HEMISF. S.	CANTIDAD DE VÍCTIMAS	
	1 h.	1 D	7 D.	30 D.	90 D.	180 D.	1 A.	2 A.	5 A.	10 A.				
EXPLOSIÓN	XX	XX										REGULAR	MUY POCA	MUCHA
RADIACIÓN TÉRMICA	XX	XX										REGULAR	POCA	REGULAR
RAD. IONIZANTE INSTANT.	XX	XX										POCA	POCA	POCA
INCENDIOS	XX	XX	XX	XX								REGULAR	POCA	REGULAR
GASES TÓXICOS	XX	XX	XX	XX	XX							REGULAR	POCA	POCA
OSCURIDAD	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX					MUCHA	REGULAR	POCA
FRIO	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX				MUCHA	MUCHA	MUCHA
CONGELACIÓN DEL AGUA	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX			MUCHA	MUCHA	POCA
RAD. IONIZANTE	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX			MUCHA	MUCHA	MUCHA



#### **6.1.11. Equipos para dispersión de materiales radiactivos o armas nucleares asimétricas**

Para obtener sistemas que produzcan una irradiación importante, se pueden utilizar bombas nucleares como las estudiadas anteriormente, producir la masa crítica por unión de materiales fisibles, en cuyo caso se liberarían grandes cantidades de radiaciones gamma y de neutrones sin explosión o utilizar mecanismos para esparcir materiales radiactivos de la clase que sea, que son cualquier clase de equipo capaz de diseminar material radiactivo en una zona sin necesidad de producir una detonación atómica, son conocidos como las armas nucleares de los países pobres aunque como se desprende de su definición no tienen mucho en común, representan una amenaza terrorista real.

Hasta el presente, grupos terroristas han utilizado estos artefactos radiológicos en dos ocasiones. En 1995, sicarios de la mafia rusa escondieron material radiactivo en la oficina de un hombre de negocios, el cual falleció a los pocos meses de una enfermedad radioinducida.

En Noviembre de 1995, guerrillas Chechenas enterraron un contenedor de 15 Kgs. de Cesio 137, material que se utiliza para las terapias contra el cáncer, cerca de la entrada del parque Izmailovo, un parque de recreo en Moscú. El contenedor emitía un nivel de radiaciones 200,000 veces por encima de los valores de fondo. Cientos de personas fueron irradiadas antes de que se descubriera el contenedor.

Varios países, incluyendo algunos de los clasificados como países terroristas, han experimentado con estos artefactos. En la década de los 80, Irak produjo y probó bombas convencionales rellenas con material radiactivo, procedente de los desechos de reactores nucleares.

Los desechos radiactivos de reactores nucleares son la fuente principal para ser usados en la fabricación de estas bombas. Miles de toneladas de estos residuos se encuentran esparcidos por todo el mundo y en algún caso sin demasiado control, en general los países que son miembros del Organismo Internacional de la Energía Atómica, sufren inspecciones y controles de salvaguardias que garantizan el control y el uso del material desechado para que no pueda usarse con fines no lícitos. Las fuentes radiactivas de usos sanitarios o industriales desechadas no sufren controles tan exhaustivos y suelen ser mas fácilmente alcanzables. Existe mucho equipamiento militar que entre sus componentes se encuentran materiales radiactivos. Entre los países que tienen materiales radiactivos de desecho están: Irak, Irán, Argelia, Libia, Cuba, Pakistán, y Corea del Norte.



Media tonelada de residuos nucleares de un reactor (combustible gastado) contiene radiactividad para dejar una zona metropolitana deshabitada por meses, y quizás años. Estos residuos de alta actividad se encuentran en las piscinas de las centrales nucleares controlados, por lo que no resultaría fácil apoderarse de ellos y luego transportarlo de manera que no levantasen sospechas y de manera segura para sus manipuladores. Otro asunto se insiste en conseguir fuentes radiactivas de desecho cuya accesibilidad es mucho mayor por su menor control, en estos casos se trataría de fuentes de Cesio 137, Cobalto 60, Iridio 192, Estroncio 90, Kriptón 85, Americio-Berilio, Iodo 131, etc. que dada su pequeña cantidad (cientos de gramos) y actividad residual (algunos Curios como máximo, 1 Curio equivale a  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bequerelios), sus efectos de contaminación y dosis serían bastantes reducidos (se trataría de fuentes beta-gamma básicamente), no así sus efectos psicológicos sobre la población que serían importantes al igual que las contramedidas a adoptar por la autoridad competente.

Otra posibilidad para la diseminación de la radiactividad, es el ataques mediante misiles tierra-tierra o artillería ligera a centrales nucleares civiles o a sus dependencias donde existen sistemas de seguridad o almacenamiento de residuos radiactivos de la central, los diseños de reactores occidentales, son muy cuidadosos proveyendo a la vasija del reactor de blindajes externos y una losa superior contra misiles e impactos de grandes objetos a gran velocidad (Smyth, Henry deWolf, 1945).

La existencia de un gran arsenal de armas nucleares tácticas (de baja potencia) en países con escasa seguridad en sus instalaciones militares, podría propiciar el uso de sus componentes nucleares para producir bombas asimétricas.

Los materiales que usan uranio empobrecido, tales como la munición de guerra abandonada sobre el terreno, pese a que existe una fuerte controversia sobre su impacto medioambiental, parece ser que solo representa un riesgo importante para el ser humano, cuando se vaporiza e inhala, por la alta toxicidad de los metales pesados depositados en los riñones.

Es probable que algún un país que cobije el terrorismo o practique el terrorismo de estado o en el que funcionen las mafias organizadas, prestara ayuda a los grupos terroristas encargados de utilizar estos sistemas. En cualquier caso esta utilización de estos sistemas de contaminación radiactiva del medio básicamente urbano, es un escenario de trabajo con una probabilidad muy alta de suceso, razón por la que las autoridades nacionales e internacionales, deberían fomentar el control total sobre estas sustancias y los medios de protección colectiva frente a este tipo de agresiones, se insiste en que el daño moral y psicológico sobre todo a la población civil será muy superior al daño real derivado por la irradiación producida a la colectividad.

#### **6.1.11.1.1. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes**

Las partes mas radiosensibles en el ser humano son el sistema hematopoyético y el sistema gastrointestinal, cuando el ser humano sufre irradiaciones de 3,5 Gy a cuerpo entero sin atención sanitaria, la mitad de la población expuesta bajo esas condiciones,

morirán durante los siguientes sesenta días, esto es lo que se denomina como dosis letal 50/60 (LD<sub>50/60</sub>). Los efectos de las radiaciones ionizantes se pueden clasificar en aquellos que aparecen sobre el propio individuo irradiado inmediatamente o después de un período de latencia o los efectos que aparecen en la descendencia del individuo irradiado (efectos genéticos) (NATO, 1996).

La médula ósea contiene tres sistemas de renovación celulares, las células rojas o eritrocitos, las células blancas o mielocitos y los trombocitos o plaquetas, la irradiación de este sistema celular alterará el funcionamiento del mismo pudiendo provocar situaciones irreversibles que conduzcan a la víctima a su muerte. Dependerá la gravedad de la situación de las dosis recibidas, su fraccionamiento, localización, el estado inicial del individuo irradiado, tipo de radiación.....

El sistema gastrointestinal cuando se irradia, sufre alteraciones en su sistema de renovación celular epitelial conduciendo a la descamación de las mucosas intestinales, provocando hemorragias, pérdidas de fluidos y electrolitos contribuyendo a la presentación del shock una o dos semanas después de la irradiación.

Cuando el individuo es irradiado con dosis muy altas (20-40 Gy) sufre un cuadro de incapacidad transitoria después de un período de latencia de uno a tres días, la pérdida de consciencia, la inestabilidad vascular, las convulsiones sin aumento de la presión intracraneal, serán un cuadro preliminar que desembocará en la muerte del individuo. En explosiones nucleares, este cuadro se podía atribuir a los efectos de la explosión, pero en investigaciones posteriores y análisis de accidentes en centrales nucleares y fábricas de reprocesamiento, se comprobó que era debido a las altas exposiciones a las radiaciones ionizantes.

El síndrome de irradiación aguda (SIA), es el que aparece en víctimas de grandes irradiaciones, este síndrome suele dividirse en diferentes fases:

Fase prodrómica, aparecen náuseas, vómitos y malestar generalizado, es una situación inespecífica.

Fase latente, el individuo irradiado se encuentra libre de sintomatología, dura de unos pocos días a una semana en esta situación, seguidamente aparecerá el síndrome neurovascular.

A partir de dosis de 0,7 y 4 Gy aparece una disminución progresiva de linfocitos y mas lentamente de leucocitos y trombocitos, el paciente es propenso a la aparición de infecciones y anemias, esta situación puede confundir los efectos de un arma nuclear con una química (agente mostaza) que provoca alteraciones celulares similares e incluso que armas biológicas que provocan por agentes patógenos infecciones en las víctimas.

#### **6.1.11.1.2. El tratamiento de los irradiados**

Este se podría dividir en tres fases, la clasificación, los cuidados de urgencia (de 12 a 24 horas) y el tratamiento definitivo. El tratamiento del individuo irradiado contemplara la terapia convencional para el control y prevención de la aparición de la neutropenia e infección (antibiótico y antipiréticos), otros factores a tratar serán los efectos derivados de la explosión nuclear (calor-onda de presión, efectos psicológicos). Para el tratamiento del SIA se requerirá en muchas ocasiones los trasplantes de médula ósea y la citokinoterapia.

#### **6.1.11.1.3. Daños mecánicos**

Pueden ser producidos por la onda de presión positiva o por la de succión posterior, los vientos producidos tiene intensidades superiores a los provocados por lo huracanes, se circunscriben a la zona cercana al impacto y duran poco tiempo. La aparición de traumatismos por impacto de objetos o contra objetos, neumotórax, traumatismos craneo-encefálicos, fracturas, estallido de vísceras etc. sucederán en esa zona de impacto. Será muy importante tratar en todos los traumatismos con heridas abiertas su cuidado convencional y la limpieza de posible contaminación radiactiva así como el tapar las heridas para preservarlas de contaminaciones posteriores e infecciones.

#### **6.1.11.1.4. Daños por calor**

El calor emitido directamente por la explosión o los incendios provocados por la propagación de la onda de calor son causa de quemaduras en las víctimas de la explosión, en los primeros instantes de la explosión existe una gran emisión de radiación infrarroja que producirá quemaduras en la superficie de piel desnuda expuesta directamente a la emisión, parte de la ropa se prendera fuego y producirá quemaduras por segunda intención, la ropa de colores claros reflejara parte de la radiación mientras que la oscura la absorberá en mayor medida. Los objetos que se interpongan entre la bola de fuego y la persona servirán en mayor o menor medida para atenuar esta exposición, si bien cuando el objeto está relativamente próximo a la bola de fuego, con gran probabilidad se vaporizara.

Los incendios secundarios pueden producir vapores tóxicos que sean inhalados por las personas que se refugian en recintos cerrados o están en las inmediaciones de esos focos.

El efecto combinado de las quemaduras y la irradiación-contaminación , aumentara la letalidad de la situación de los afectados, la contaminación radiactiva deberá eliminarse de la piel y las heridas en las cuales se alojara de manera mas significativa.



*Imágenes víctimas de diferentes quemaduras cutáneas.*

#### **6.1.11.1.5. Daños oculares**

La exposición masiva a la alta intensidad de luz visible e infrarroja producida en el instante de la detonación y posteriores, producirá daños específicos en la retina, donde se producirán reacciones fotoquímicas inducidas por la radiación infrarroja. No se deberá observar la explosión con binoculares y similares ya que ala afectación puede ser mayor, si es necesario se utilizarán sistemas de visualización electrónicos indirectos.

La observación directa de la detonación producirá una ceguera por deslumbramiento en el observador que podrá prolongarse en situaciones de oscuridad hasta treinta minutos.

#### **6.1.11.1.6. Síndrome de irradiación crónica (SIC)**

##### **(Los efectos de las irradiaciones a bajas dosis)**

Los efectos diferidos de las exposiciones a las radiaciones ionizantes, pueden manifestarse mucho tiempo después de haber sufrido la exposición, esto dependerá de muchos factores físico-biológicos que contemplaran la fuente de emisión y el propio individuo irradiado. Efectos típicos de la irradiación serán el acortamiento de la vida, la carcinogénesis, las cataratas radioinducidas, las radiodermitis, alteraciones de la fertilidad, inducción de mutaciones genéticas, etc.

Durante el desarrollo del programa de investigación de armas nucleares de la ex Unión Soviética, la seguridad del personal que trabajaba en la producción de plutonio era bastante precaria por acelerar la misma y en consecuencia produjo exposiciones anuales en mas de un millar de trabajadores a dosis comprendidas entre los 2 y 4,5 Gy, que manifestaron un conjunto de sintomatología y clínica que fue denominada como SIC, estas alteraciones eran desordenes neurológicos, leucopenias, anemias, alteraciones de las mucosas intestinales, encéfalomiелitis, infecciones por inmuno depresión, alteraciones del apetito y del sueño, fatiga, excitabilidad, pérdidas de concentración y memoria, vértigos, ataxias, parestesias, dolores de cabeza, etc.

#### **6.1.11.1.7. Efectos psicológicos**

A los efectos devastadores de las explosiones nucleares, hay que sumar la aparición de los efectos psicológicos que aparecen en los combatientes o civiles supervivientes, el comportamiento esperado será muy diferenciado en función de un caso u otro, el combatiente que pertenezca a unidades de élite o especializadas (NBQ) o sea un militar experimentado y profesional, suele en términos generales adaptarse a estas trágicas circunstancias en la medida de lo posible bastante bien, el sentido del deber, la obediencia, el entrenamiento y otras cuestiones específicas de la formación militar, propiciarán estas circunstancias en el grupo, si bien es cierto que esta aceptación de la situación durara mientras exista un mando, no se prolongue demasiado tiempo la situación crítica de las víctimas y no se pierda la esperanza de una pronta intervención en su apoyo de otros grupos militares para su asistencia sanitaria inmediata, evacuación y control posterior. Cuando por el contrario se trata de víctimas civiles, en una situación tan dramática, la precaria situación personal, la ambiental, la falta de recursos para sobrevivir, provocan en las víctimas un estado de inconsciencia que les hace durante el período inmediato a la explosión moverse frenéticamente sin rumbo o permanecer inmóviles sin capacidad de reacción, los períodos siguientes irán seguidos de todos los cuadros típicos de grandes catástrofes, situaciones de personas con un espíritu de solidaridad y ayuda sin límites o lo que es más generalizado, el bandillaje, el bandalismo, la lucha por el acopio de los restos de alimentos y agua, la especulación con los bienes primarios (alimentos y medicinas), el intento desesperado y a cualquier costa de escapar de la zona, en resumidas cuentas el caos mas absoluto.



Este tipo de vivencias deja marcas psicológicas en las víctimas para el resto de su existencia y son evidentes en cuadros típicos de trastornos mentales transitorios y patologías fijas de la conducta, estrés crónico, fobias, depresiones, salvo las situaciones extremas de niños de edad muy corta o personas muy mayores por cuestiones obvias.

Los cuadros psicológicos derivados del uso de armamento radiológico por parte de grupos terroristas por ejemplo, van a producir en la víctimas directas un situación similar pero de menor intensidad que en el caso de las explosiones nucleares para la población civil, para los cuerpos militares y de seguridad, cuando tengan que intervenir después del incidente, ya que se trataran de unidades preparadas en la mayoría de las ocasiones, salvo el impacto inicial de la llegada a la zona, su preparación psicológica previa, les hará aceptar la situación con profesionalidad, otra cuestión será la importancia del impacto psicológico en la sociedad que por las informaciones directas y a través de los medios de comunicación provocarán una situación de indefensión, impotencia, miedo y deseo de represalias, la pérdida de confianza en las instituciones y los medios para garantizar la seguridad de los ciudadanos. Una buena contracampaña informativa institucional puede frenar esa sensación negativa e incluso reconducirla según intereses gubernamentales.

En cualquier caso es claro que al combatiente, a las fuerzas de seguridad, equipos de intervenciones en emergencias, hay que formarles y entrenarles para que puedan asumir desde el punto de vista psicológico este tipo de situaciones radicales, de ello dependerá que realicen su misión de manera efectiva. De la misma manera y mediante campañas de información y concienciación ciudadana, hay preparar a la población civil para que pueda conocer estos riesgos y unas maneras mínimas de comportamiento ante ellos, incluso mediante la realización de simulacros, por ejemplo en colegios, en países de alto riesgo como Israel, esto forma parte de la educación ciudadana a todos los niveles.

#### **6.1.11.1.8. Contaminación externa**

La contaminación externa de la víctima, sucede cuando esta se ha sometido a fuentes radiactivas libres sin las barreras personales apropiadas, los emisores gamma serán causa de la irradiación corporal total, los emisores beta irradiaran fundamentalmente la piel causando las radiodermitis y úlceras, los emisores alfa no penetran el epitelio y su riesgo fundamental es la incorporación al interior del organismo. Es importante el que los equipos humanos que prestan asistencia al contaminado no sufran la irradiación ni la contaminación por su trabajo, el proceso de la descontaminación debe realizarse de manera que no demore la asistencia sanitaria urgente más allá de lo imprescindible. Simplemente la retirada adecuada de las vestimentas contaminadas en la mayoría de las ocasiones nos está redundando en la remoción del 90% de la contaminación superficial. El lavado suave de piel y pelo, será una buena forma de descontaminación personal, agua tibia y soluciones jabonosas neutras, cepillo blandos para evitar incomodidades y alteraciones dérmicas por exceso de temperatura del agua y abrasiones, cuidado con los orificios naturales y heridas para

evitar provocar contaminaciones internas y la recogida y salpicaduras de los residuos, líquidos de limpieza, enseres, etc.

#### **6.1.11.1.9. Contaminación interna**

Esta ocurre cuando la víctima ingiere, inhala, o penetra en su interior a través de discontinuidades u orificios de su cuerpo el material radiactivo existente en el ambiente. Esto se evita dotando al personal de los oportunos sistemas de protección individuales, máscaras con filtros, vestimentas,....los isótopos radiactivos en el interior del organismo, se comportan como los elementos estables y en cualquier caso se deberá tratar con preferencia la asistencia vital de la víctima y posteriormente realizar su evaluación dosimétrica y terapia específica.

Cuando se inhalan partículas con tamaños inferiores a 5 micrones de diámetro, estas se depositan en los alvéolos pulmonares, las partículas mayores son detenidas por el sistema muco ciliar de la orofaringe. Las partículas solubles se incorporaran directamente al torrente sanguíneo o a través del sistema linfático. Las partículas no solubles hasta que son eliminadas por el tracto respiratorio, irradian los tejidos circundantes provocando fibrosis y procesos inflamatorios.

Los materiales radiactivos ingeridos, cuando están el tracto digestivo su absorción dependerá de la forma química del contaminante y su solubilidad, por ejemplo el radioiodo y cesio se absorben rápidamente mientras que el plutonio, radio y estroncio no. Una vez absorbido el radionúclido atraviesa por capilaridad las membranas y se distribuye por el organismo en función de afinidad del mismo en cada órgano, por ejemplo el hígado, riñones, tejido adiposo, hueso, metabolizan con facilidad radioisótopos debido a su alto contenido en proteínas y lípidos.

El Iodo 131 (I-131) es un isótopo radiactivo de fisión que se produce en cantidades importantes en accidentes e incidentes con reactores nucleares. Las máscaras con filtros de carbón activo son una buena protección para prevenir su inhalación.

Cuando se supone la contaminación interna de una víctima, el tratamiento de la contaminación interna disminuirá la dosis recibida y los riesgos posteriores. Se pueden utilizar agentes diluyentes y bloqueantes que aumenten la tasa de eliminación del contaminante. Se utilizaran quelantes, lavados gástricos, eméticos para el estómago, purgantes y enemas para el colon. Se usan intercambiadores iónicos de resinas para el control de la contaminación gastrointestinal (Azul de Prusia) y alginatos para acelerar la defecación del I-131. Para bloquear la contaminación de la glándula Tiroides con el I-131, se suele administrar compuestos de yodo estable (ioduro potásico). Otros elementos para eliminación de contaminación corporal por metales son los quelantes como el EDTA y DTPA que provocarían la excreción por vías urinarias.

#### **6.1.11.1.10. Dosimetría biológica**

La estimación de la dosis que reciben las personas es un dato imprescindible para poder establecer las pautas adecuadas para su tratamiento sanitario, la dosis de irradiación externa puede calcularse (dosimetría externa) o bien a través de medidas directas mediante instrumentación apropiada, o bien por estimaciones teóricas basadas fundamentalmente en datos de la fuente de radiaciones, condiciones meteorológicas, condiciones orográficas, localización y sistemas de protección del afectado, etc. La estimación de la dosis debida a la incorporación de radioisótopos al interior del organismo (dosimetría interna) es bastante mas compleja, también se puede realizar por estimaciones teóricas que consideran la fuente de contaminación, detalles de la exposición y un modelo de hombre estandarizado, o por medidas directas con equipos especiales, contadores de radiactividad corporal, que aíslan al afectado del medio y miden la cantidad, tipo y distribución de radiactividad en el interior del organismo, incluso su evolución espacio-temporal. Este es un procedimiento lento y complejo, por lo que no es muy accesible ni operativo en casos de exposiciones a un número grande de personas, en este caso se recurre a la dosimetría biológica que aunque de menor precisión sobre todo cuando ha pasado un tiempo después de la exposición, puede darnos una idea suficientemente aproximada (sobre todo si se dispone de otros datos adicionales), en este caso se toman muestras biológicas y a través de sus análisis en laboratorios especializados, se pueden saber esas dosis. Una técnica muy extendida es el estudio en muestras sanguíneas de las aberraciones cromosómicas de los linfocitos periféricos y su comparación con curvas patrón, método viable si el estudio se efectúa antes de las 24 horas siguientes a la exposición. Para este caso se tomará una muestra de sangre periférica (10-15 ml) que se heparinizara en un tubo y se refrigerará, a continuación se remitirá aun laboratorio de citogenética.

El ejercito de los EE.UU. tiene establecidas unas pautas de actuación sanitaria y de adopción de medidas de seguridad en las tropas que están expuestas a radiaciones ionizantes según niveles que van desde el RES0 (Radiation Exposure Status) para exposiciones inferiores a 0,5 mGy a RES3 para exposiciones superiores a los 1,5 Gy. El RES0 implica un riesgo igual al resto de la población y solo se actuaría registrando estas exposiciones sin actividades complementarias, el RES1E (exposiciones entre 250 y 750 mGy, dos niveles anteriores al máximo contemplado) supondrían un aumento de entre 2-6% de la probabilidad de contraer cáncer y para este status, aparte de los registros de dosis, se contemplaría la evacuación y control-asistencia posterior.

## **6.1.12. La descontaminación**

### **6.1.12.1.1. Aspectos generales**

La contaminación es la deposición de materiales radiactivos por encima de los valores de fondo normales y la descontaminación será la remoción de estos de las zonas de interés.

La descontaminación la puede efectuar el propio afectado (autodescontaminación), puede realizarse a terceros o puede realizarse sobre objetos de interés. La descontaminación radiactiva es similar a la química solo que en esta un factor básico es la urgencia de su realización y en la radiactiva no es tan urgente. La eliminación de la ropa y calzado junto con la limpieza del pelo, en general producen una descontaminación del 95%. Al igual que para la descontaminación química se utilizaba una disolución de hipoclorito al 0,5% también se puede utilizar esta para la descontaminación radiactiva, con mucho cuidado de no producir alteraciones de la piel, para limpiar heridas u ojos se puede utilizar suero fisiológico. Se insiste una vez más en el cuidado de no dispersar la contaminación ni contaminar al personal ni equipos que prestan la asistencia (NATO, 1996).

Una vez se ha procedido a realizar la descontaminación y comprobar la eficacia del proceso, a la persona descontaminada o al material descontaminado, se le dotará de señalización y certificado correspondiente junto con registro de las actuaciones.

Para emisores alfa se considerará libre de contaminación cuando con un contador apropiado se miden menos de mil desintegraciones por minuto (17 dps), para radiación beta menos de 10  $\mu\text{Sv/h}$  y para radiación gamma hasta valores el doble del fondo de personas u objetos libres de contaminación.

### **6.1.12. 1.2. Descontaminación de afectados**

Siempre se realizará por un equipo de personal técnico y sanitario con formación y experiencia, se eliminarán ropas, calzados, vendas (solo se reemplazarán en caso de que las heridas sigan sangrando) , y todo aquello que pueda estar contaminado, el personal que proviene de una zona contaminada, en principio se le supone y trata como contaminado hasta que se certifique su "limpieza". Se atenderá a la vez que la descontaminación inicial la urgencia vital

Las heridas se monitorizarán con un equipo adecuado protegido (cuidado con la atenuación que ese protector puede producir en partículas de baja energía) para evitar su contaminación con la piel, fluidos, polvos de talco..., si resultasen contaminadas, hay que limpiarlas bien con suero fisiológico o similar para evitar que esas partículas radiactivas penetren a través de ella en el organismo. Cualquier cirugía radical no deberá practicarse hasta que se garantice la descontaminación. Las quemaduras se limpiarán con soluciones no agresivas y las vesículas cerradas se limpiarán externamente y las abiertas se lavarán al igual que las quemaduras. La desbridación de

heridas, si es aconsejable, se podrá efectuar haciendo descontaminado previamente el campo y dejando sangrar a la vez que se lava la herida durante unos instantes para evitar la contaminación de la zona.

Los equipos de protección de vías respiratorias para agentes químicos son buenas barreras para la contaminación radiactiva, pero cuando los isótopos son el Tritio y el Radón, no son retenidos en los filtros. Para acelerar la eliminación del tritio por orina, se somete al afectado a abundante fluidoterapia, la barrera cutánea es permeable al Tritio que es un emisor beta de muy baja energía por lo que salvo que se trate de una contaminación muy importante, no tiene una gran trascendencia biológica en el contexto que estamos hablando. Los trajes de protección de contaminación química-biológica tal y como los registrados con la marca Tyvek® son muy buenas prendas para prevenir la contaminación radiactiva.

### 6.1.13. La instrumentación nuclear

La eficacia de la defensa contra las radiaciones nucleares implica conocer su naturaleza y cantidad, para ello hay diferentes instrumentos. Los instrumentos de campo, que suelen en el caso militar cumplir homologaciones STANAG (OTAN) o similares y que garantizan el cometido y la fiabilidad del equipo en condiciones de manejo y ambientales adversas, tales como su hermeticidad a la humedad y resistencia a los impactos y altas-bajas temperaturas, autonomía, sencillez de uso, retroiluminación nocturna segura, control sobre alarmas acústicas, memorización-transmisión de datos, control según protocolo sobre la visualización o no de lecturas, portabilidad,..... y la instrumentación de laboratorio que resulta ser mas compleja, sofisticada, específica y poco portable. La instrumentación de campo se utiliza para hacer medidas y determinaciones rápidas y la de laboratorio para hacer medidas mas precisas a posteriori, tales como identificación de radioisótopos, cuantificación de contaminación en muestras biológicas, ambientales de todo tipo, etc.





*Instrumentación nuclear, radiómetro, sistemas de centelleo, medidores de aerosoles*

Equipos de campo utilizados por los ejércitos de la OTAN son los radiómetros para medir exposiciones x-gamma de tasas entre los 0,01 y 99 Gy/h y dosis integradas de hasta 10Gy en un amplio rango de energías, los monitores de radiación alfa con sonda de centelleo de 100 cm<sup>2</sup> con medidas desde 0 a 999 cuentas/minuto, equipos con sondas intercambiables para medir alf-beta-gamma, medidores de contaminación beta mediante tubo Geiger-Müller con sonda de “pancake” para contaminaciones beta de 4 Bq/cm<sup>2</sup>, equipos para medir neutrones a base de contadores proporcionales con trifluoruro de boro, etc.

Los equipo de laboratorio serán, espectrómetros gamma de yoduro de sodio, germanio o similares (espectrometría gamma), contadores de pozo (medidas beta), detectores de sulfuro de zinc (medidas alfa), contadores de pies y manos-cuerpo entero (contaminación externa e interna), sistemas de muestreo en continuo para agua y emisiones atmosféricas (aerosoles y partículas, yodios), esta instrumentación suele ser similar la utilizada en las centrales nucleares y laboratorios de baja actividad civiles, en cualquier caso requieren el manejo de profesionales muy cualificados e instalaciones específicamente diseñadas para ellos que en ocasiones pueden ser unidades móviles, complementadas con sistemas de telecomunicaciones, informática y sistemas de localización vía satélite (GPS), etc.



*Detector de neutrones, medidor de contaminación superficial y detector de pies y manos*

**6.1.14. Normas de la Agencia Federal Para la Gestión de Emergencias (EE.UU.) (Cochran et al, 1987)**

Las explosiones nucleares pueden causar efectos mortales - luz cegadora, calor intenso (radiación térmica) radiación nuclear inicial, explosión, incendios causados por la intensidad del calor e incendios secundarios causados por la destrucción. También pueden producir partículas radioactivas llamadas lluvia("fallout") que pueden ser transportadas por el viento a cientos de millas.

El uso de un aparato de dispersión radiológica (RDD, por sus siglas en inglés) llamado generalmente bomba sucia se considera con más posibilidad de usarse que uno nuclear. Estas armas radiológicas son una combinación de explosivos y materiales radioactivos convencionales diseñados para esparcir cantidades peligrosas y subletales de material radioactivo sobre un área general.

Si hubiera una amenaza de un ataque de una nación hostil, la gente que viva cerca de blancos potenciales podría ser aconsejada de evacuar o podría decidir por sí misma evacuar a un área que no sea considerada un posible blanco. Para fabricar estas armas, se necesitan muy pocos conocimientos técnicos para construirlas y lanzarlas comparadas a un aparato nuclear. También, estos materiales radioactivos son muy accesibles por ser usados extensamente en medicina, agricultura, la industria e investigación.

El uso de un aparato nuclear por parte de los terroristas probablemente se limite a una simple arma-maletín más pequeña. La fuerza de tal arma estaría en el rango de las bombas usadas durante la Segunda Guerra Mundial.

No hay manera de saber cuánto tiempo de advertencia habría antes de un ataque terrorista utilizando un arma nuclear o radiológica. Queda la posibilidad de un ataque de sorpresa.

El peligro de un ataque nuclear estratégico y masivo sobre los Estados Unidos que implique muchas armas disminuyó al final de la Guerra Fría. No obstante, algunos terroristas reciben apoyo de naciones que cuentan con programas de armas nucleares.

Si hubiera la amenaza de un ataque por parte de una nación hostil, a la gente que reside cerca de los posibles objetivos se le aconsejaría que se trasladen a un área que no se considere un posible objetivo. La protección contra la precipitación radioactiva requerirá buscar refugio en un área bajo tierra o en el centro de un edificio grande.

En general, los blancos potenciales incluyen:

- Sitios estratégicos de misiles y bases militares.
- Centros de gobierno como los de Washington, D.C. y las capitales de los estados.
- Centros importantes de transporte y comunicación.
- Centros manufactureros, industriales, tecnológicos y financieros.

- Refinerías de petróleo, plantas eléctricas y plantas químicas.
- Puertos y aeropuertos principales.

Buscar refugio durante un ataque nuclear es absolutamente necesario. Hay dos clases de refugios - explosión y (fallout).

Los centros de protección contra explosiones ofrecen alguna protección contra presiones explosivas, radiación inicial, calor e incendio, pero aún un refugio contra explosión no podría aguantar un golpe de una detonación nuclear.

Los centros de protección de destrucción no tienen que ser necesariamente construidos para ese propósito. Pueden ser cualquier espacio que provea protección, siempre y cuando las paredes y el techo sean suficientemente gruesos y densos para absorber la radiación creada por las partículas destructivas. Los tres factores protectores de un refugio contra destrucción son barrera, distancia y tiempo.

- *La barrera.* Mientras más pesados y densos sean los materiales - paredes gruesas, concreto, ladrillo, libros y tierra - entre usted y las partículas destructivas, mejor.
- *La distancia.* A mayor distancia entre usted y las partículas destructivas, mejor. Un área subterránea, como una casa o el sótano de un edificio de oficinas, ofrece más protección que el primer piso de un edificio. Un piso cercano a la mitad de un edificio alto podría ser mejor, dependiendo que no esté cerca del nivel donde las partículas destructivas podrían juntarse. Las azoteas planas colectan partículas destructivas, por eso el piso mas alto no es una buena opción, tampoco es un piso que esta junto a la azotea plana de un edificio vecino.
- *Tiempo.* La radiación destructiva pierde su intensidad muy rápidamente. Con el tiempo usted será capaz de dejar el refugio contra destrucción. La lluvia radioactiva conlleva el mayor peligro para la gente durante las primeras dos semanas, tiempo en que la radiación ha disminuido en cerca de 1% de su nivel inicial.

Recuerde que cualquier protección, aunque sea temporal, es mejor que ninguna, y cuanto mayor sea la barrera, la distancia y el tiempo que pueda aprovechar, mejor será para usted.

#### **6.1.14.1.1. Pulso Electromagnético**

Además de otros efectos, un arma nuclear detonada por encima o por debajo de la atmósfera de la tierra puede crear un pulso electromagnético (EMP) (por sus siglas en Inglés), un campo eléctrico de alta densidad. EPM actúa como el golpe de un rayo, pero es más fuerte, más rápido y dura menos. EPM puede dañar seriamente aparatos electrónicos conectados a generadores o antenas. Esto incluye sistemas de comunicación, computadoras, aparatos eléctricos y sistemas para arrancar automóviles y aviones. El daño puede variar desde una interrupción menor hasta la destrucción real de los componentes. La mayoría de los equipos electrónicos dentro de 1 000 millas de una detonación nuclear de altitud elevada podrían ser afectados. Los radios con antena corta y operados con baterías generalmente no se afectarían.



Aunque es poco probable que EMP dañe a la mayoría de la gente, podría dañar a personas con marcapasos u otros aparatos eléctricos implantados.

#### **6.1.14.1.2. Qué hacer antes de un ataque nuclear o radiológico**

1. Conozca las señales de advertencia y todas las fuentes de advertencia usadas en su comunidad. Esté seguro de cuáles son las señales, qué significan, cómo serán usadas y que debe hacer usted si las escucha.

2. Prepare y mantenga un equipo de suministros para desastres con alimentos, agua, medicamentos, gasolina y efectos personales adecuados hasta por 2 semanas - mientras más tenga mejor.

3. Averigüe qué edificios públicos en su comunidad pudieron haber sido asignados como albergues contra destrucción. Puede ser que haya ocurrido hace años, pero empiece desde ahí y conozca qué edificios todavía están en uso y podrían ser designados como albergues nuevamente.

- Llame a su oficina local para manejo de emergencias en edificios.

- Busque los refugios contra destrucción con señales amarillas y negras en los edificios. Nota: Con el fin de la Guerra Fría, muchas de estas señales han sido retiradas de los edificios previamente designados.

- Si no hay señales fáciles de notar u oficiales, haga su propia lista de albergues potenciales cerca de su casa, trabajo y escuela: sótanos, o el centro de áreas sin ventana de los pisos de en medio de los edificios altos, así como trenes, metros y túneles.

- Dé instrucciones claras a su familia acerca de donde están los albergues y qué acciones deben tomar en caso de ataque.

4. Si vive en un edificio de apartamentos o de muchos pisos, hable con el gerente acerca del lugar más seguro en el edificio para buscar refugio y acerca de ofrecerlo a los ocupantes del edificio hasta que sea seguro salir.

5. Hay muy pocos refugios públicos en muchas áreas suburbanas y rurales. Si está considerando construir un refugio en su casa, tenga en mente lo siguiente:

- Un sótano o cualquier área subterránea es el mejor lugar para un refugio. A menudo, muy pocos cambios son necesarios, especialmente si la estructura tiene dos o más pisos y un sótano - o si una esquina - esta por debajo del piso.

- Los refugios pueden ser usados para guardar cosas durante períodos que no son de emergencia, pero sólo guarde cosas ahí que puedan quitarse fácilmente (Cuando saque esas cosas, las densas y pesadas podrían ser usadas para adicionarse a la barrera).

- Lea la sección de Tornados en el capítulo de Tormentas para información de la Habitación Segura contra el Viento, la cuál podría ser usada como refugio en el caso de una detonación nuclear o protección contra destrucción, especialmente en una casa que no tiene sótano.

- Todas las cosas que necesite para su estancia no necesitan guardarse dentro del refugio mismo, pueden ser guardadas en otro lugar, siempre y cuando pueda trasladarlas rápidamente al refugio.

6. Averigüe sobre los planes de evacuación de su comunidad. Dichos planes pueden incluir rutas de evacuación, sitios de reubicación, cómo notificar al público y opciones de transporte para la gente que no tiene auto y aquellos que tienen necesidades especiales. Lea el capítulo de "Evacuación" para más información.

7. Adquiera otros folletos de preparación para emergencias que pueda necesitar.

#### **6.1.14.1.3. Qué hacer durante un ataque nuclear o radiológico**

1. No mire al destello o a la bola de fuego porque podría enceguecerlo.
2. Si oye una advertencia de ataque:
  - Busque protección tan pronto como pueda, DEBAJO DEL NIVEL DEL PISO SI ES POSIBLE y quédese ahí a no ser que le digan otra cosa.
  - Si le coge afuera, sin poder ir adentro inmediatamente, busque protección detrás de cualquier cosa que ofrezca protección. Quédese acostado en el piso y cúbrase la cabeza.
  - Si la explosión está lejos, podría tomar 30 segundos o más para que la onda explosiva golpee.
3. Protéjase de la lluvia radioactiva. Si esta suficientemente cerca para ver la luz brillante de una explosión nuclear, la caída llegará en cerca de 20 minutos. Busque refugio, aún si esta a muchas millas de la zona cero - una lluvia radioactiva puede ser llevada por los vientos a cientos de millas. Recuerde los tres factores de protección: barrera, distancia y tiempo.
4. Lleve un radio operado con baterías y escuche la información oficial. Siga las instrucciones que le den. Las instrucciones locales siempre deben tener preferencia: los oficiales en la zona conocen mejor la situación.

#### **6.1.14.1.4. Qué hacer después de un ataque nuclear o radiológico**

En un albergue público o un refugio:

1. No deje el refugio hasta que los oficiales digan que es seguro. Siga las instrucciones cuando salga.
2. Si está en un refugio, quédese en el refugio hasta que las autoridades locales le digan si está permitido o si es aconsejable salir. Su estadía podría durar un día o de dos a cuatro semanas.
  - La contaminación por un aparato de dispersión radiológica puede afectar una área amplia, dependiendo de la cantidad de explosivos convencionales usados, la cantidad de material radioactivo y las condiciones atmosféricas.
  - Un maletín con un aparato nuclear terrorista detonado a nivel de suelo o cerca de éste produciría una caída pesada de tierra y escombros succionados dentro de la nube de hongo.
  - Un arma nuclear lanzada de un misil desde una nación hostil probablemente causaría una explosión muchas veces más poderosa que una bomba maletín y crearía una nube de lluvia radioactiva más grande.
  - La tasa de reducción de la lluvia radioactiva sería la misma, haciendo necesario para aquellos que viven en áreas con niveles altos de radiación que permanezcan en el refugio hasta un mes.
  - La caída más pesada estaría limitada al área de la explosión o la que está en la dirección en que sopla el viento y el 80% de la caída ocurriría dentro de las primeras 24 horas.

- Debido a estos hechos y al número muy limitado de armas que los terroristas podrían detonar, la mayoría del país podría no ser afectado por la lluvia radioactiva.
- A las personas en la mayoría de las áreas que serían afectadas, se les podrían permitir salir y si fuera necesario, evacuar hacia áreas no afectadas en pocos días.
- 3. Aunque sea difícil, haga cualquier esfuerzo para mantener condiciones sanitarias en su espacio del albergue.
- 4. Los alimentos y el agua podrían ser escasos. Úselos prudentemente, pero no imponga racionamientos severos, especialmente para los niños, los enfermos y los ancianos.
- 5. Coopere con los gerentes de los albergues. El vivir con muchas personas en un espacio confinado podría ser difícil y no agradable.

#### **6.1.14.1.5. Volviendo a su casa**

1. Continúe escuchando por la radio las noticias acerca de qué hacer, dónde ir y qué lugares evitar.
2. Si su casa estaba dentro del rango de onda de choque de la bomba o si vive en un edificio alto de apartamentos que experimentó una explosión no-nuclear, verifique cualquier señal de colapso o daño, como:
  - chimeneas inclinadas, ladrillos caídos, paredes caídas, yeso cayéndose de los techos.
  - lámparas, cuadros y espejos caídos.
  - vidrios rotos de las ventanas.
  - libreros, estantes u otros artefactos volteados.
  - incendio de chimeneas rotas.
  - ruptura de líneas de gas y eléctricas.
3. Inmediatamente limpie medicinas derramadas, drogas, líquidos inflamables y otros materiales potencialmente peligrosos.
4. Escuche en su radio de baterías las instrucciones e información acerca de los servicios comunitarios.
5. Monitoree la radio y su televisión para información o asistencia que pueda ser ofrecida. Los gobiernos locales, estatales y federales y otras organizaciones ayudarán a cumplir con las necesidades de emergencia y le ayudarán a recuperarse de daños y pérdidas.
6. El peligro puede ser empeorado por tuberías principales de agua rotas y postes de luz caídos.
7. Si usted cerró las válvulas principales del gas, el agua y la electricidad antes de ir a un albergue:
  - No encienda el gas de nuevo. La compañía de gas la volverá a prender por usted o usted recibirá otras instrucciones.
  - Suministre el agua de nuevo abriendo la válvula principal sólo después de saber que el sistema de agua esta trabajando y que el agua no esta contaminada.
  - Encienda la electricidad nuevamente con el interruptor principal, sólo después de saber que los alambres no están dañados en su casa y que el sistema eléctrico en su comunidad esta funcionando.
  - Verifique que las líneas del alcantarillado están intactas antes

de usar los servicios sanitarios.

8. Manténgase lejos de las áreas dañadas.
9. Manténgase lejos de las áreas marcadas peligro de radiación

#### 6.1.15. Ejemplos de arsenales nucleares EE.UU/ antigua URSS.

A diferencia de los rusos (Cochran et al, 1987 y 1995) y demás naciones, los EEUU siempre han tenido la filosofía de entregar toda la información al público. Aquí están enumerados los modelos de las armas producidas desde la segunda guerra mundial hasta el presente.

Nombre	Tipo	Diametro (pulgadas)	Longitud (pulgadas)	Peso (lb)	Potencia	Detonación	Comentarios
<a href="#">Mk-I</a>	Bomba	28	120	8,900	15 - 16 Kt	Aérea	Utilizada en combate en 1945, solo se fabricaron 5 y fueron retiradas en nov de 1950. Es el tipo de Uranio arrojada sobre Hiroshima.
Mk-II	Bomba						Modelo teórico de plutonio nunca fabricada.
<a href="#">Mk-III</a>	Bomba	60.25	128	10,300	18, 20-23, 37, 49 Kt	Aérea	Utilizada en combate en 1945. se fabricaron 120. Es del tipo de implosión de núcleo de plutonio.
<a href="#">Mk-4</a>	Bomba	60	128	10,800 10,900	1, 3.5, 8, 14, 21, 22, 31 Kt	Aérea	Bomba de implosión de plutonio. se fabricaron 550 unidades. Entro en servicio en marzo de 1949 y se retiro en mayo de 1953.

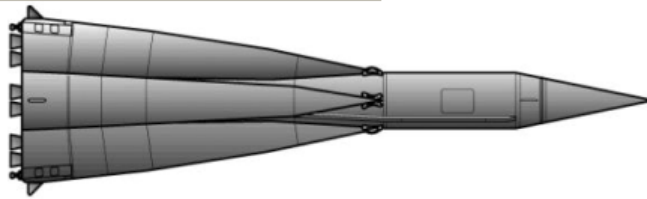


**ICBM: RUSIA**

**SS-6 Sapwood**

- Despliegue : 1959
- Retiro : 1968

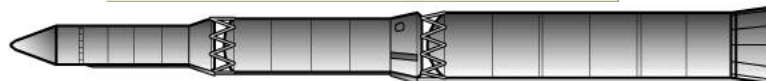
<b>Longitud</b>	33.0m
<b>Diámetros</b>	2.95m(1ra etapa), 2.6m(2da etapa)
<b>Peso de lanzamiento</b>	270,000kg
<b>Ojiva</b>	Ojiva de 3,000kg
<b>Carga de combate</b>	3MT
<b>Guiado</b>	Inercial
<b>Propulsión</b>	Dos etapas líquidas
<b>Alcance</b>	6,200km
<b>Error circular</b>	Como unos 4,000m
<b>Desplegados</b>	Solamente 4 militares(8 se utilizaron en el programa Vostok)
<b>Diseño</b>	Komolyev



**SS-13 Savage**

- Despliegue: 1969 (mod. 1)
- Retiro: En servicio

<b>Longitud</b>	21.7m
<b>Diámetro</b>	1.84m
<b>Peso de lanzamiento</b>	51,000kg
<b>Carga de combate</b>	Una ojiva 750kT
<b>Guiado</b>	Inercial
<b>Propulsión</b>	Tres etapas líquidas
<b>Alcance</b>	9,400km
<b>Error circular</b>	1,800m
<b>Numero fabricado</b>	60
<b>Diseño</b>	Nadiradze



## ANEXO II: ARMAS QUIMICAS

### 6.2.1. Definición

Según la definición dada por las ONU en 1969, se definen como agentes químicos de guerra, “ las sustancias químicas, en cualquier estado, gas, líquido o sólido, que puedan ser empleadas para producir efectos tóxicos sobre el ser humano, animales y plantas”.

En la Convención sobre Armas Químicas, se incluyen además como tales la munición y los sistemas de dispersión.

Cientos de sustancias químicas venenosas se conocen en la actualidad, pero solo se consideran útiles como agentes de guerra unas setenta de estas.

Requisitos básicos para los agentes químicos militares serían:

*Alta toxicidad, pero sin demasiada dificultad para su manipulación y transporte.*

*La sustancia tendría que soportar largos períodos de almacenamiento sin degradarse ni atacar a la contención.*

*La sustancia debería ser resistente a los ataques medioambientales (agua y oxígeno).*

*La sustancia debería soportar las condiciones extremas de calor y otras que se producen en su liberación.*

Realmente salvo en la primera Guerra Mundial que se utilizaron el Cloro y el Fosgeno en forma de gas, los agentes químicos actuales no suelen ser gases, suelen ser líquidos o sólidos aerosolizados o mezclados con sustancias que aumentan su persistencia en una determinada localización, estas sustancias suelen ser polímeros disolventes que aumentan la viscosidad y la adherencia a superficies (Cochran, RC, 1956).

### 6.2.2. Generalidades

Desde el punto de vista de la utilización de elementos químicos como agresivos personales, estos deben de cumplir una serie de características que los hagan especialmente idóneos para su cometido, tal y como son desde el **punto de vista táctico** su gran toxicidad, posibilidad de utilización múltiple, no persistencia, gran volatilidad, acción inmediata, acción insidiosa, penetrabilidad, invisibilidad y falta de olor. **desde el punto de vista técnico**, estos elementos interesa que sean fácilmente fabricables y en cantidad, baratos y con fácil disposición de materias primas e infraestructuras múltiples que faciliten su fabricación dispersa y camuflada con otras actividades, además interesa su estabilidad química que facilite su producción, almacenamiento, transporte y manipulación y su baja hidrolización. En ocasiones se mezclan estos materiales con otros para modificar sus características, tal y como es el caso de los espesantes para disminuir la volatilidad.



*Relleno de proyectiles de 75-mm artillería con gas mostaza, vista interior, planta de agentes químicos de Edgewood Arsenal (EE.UU) (fotos de CBDCHRRT, Aberdeen Proving Ground, Md.)*

Los proyectiles con carga química de agentes nerviosos, suelen estar dotados de la denominada como tecnología binaria que consiste en que en el interior del mismo, existen dos cámaras separadas por una membrana, en cada cámara existen dos productos químicos que por separado no presentan en general riesgos especiales, cuando por acción de las fuerzas de inercia (proyectil disparado), se rompe la membrana, se mezclan los productos a temperatura y presión, favoreciéndose la mezcla por la rotación del proyectil y se genera entonces el agresivo químico perseguido, que impactara en el objetivo. En el caso del Sarin se produce por la reacción del metilfosforildifluoruro y el isopropanol.

**Las propiedades físicas** a considerar en este tipo de elementos son su presión de vapor, su punto de fusión, punto de ebullición, volatilidad, persistencia y su calor latente de vaporización. Respecto de sus **propiedades químicas** habría que considerar su hidrólisis (su grado y productos generados), la estabilidad en su almacenamiento y su acción-interacción con los materiales. Desde el punto de vista de sus **propiedades fisiológicas** caben destacar la toxicidad por inhalación por vía cutánea o por ingestión y respecto de esto su dosis media letal, dosis media de incapacidad, sus efectos acumulativos, la toxicidad ocular su límite de actividad, soportabilidad y mortalidad, su grado de acción e índice de peligro.



*Exterior de la planta Edgewood Arsenal e interior en la zona de fabricación de fosgeno.*

Los agentes nerviosos son extremadamente tóxicos y actúan de manera muy rápida, la ruta de entrada en el organismo y su concentración van a ser determinantes en el plazo de la aparición y la intensidad de los efectos sobre el individuo contaminado, la vía respiratoria debido al intercambio sanguíneo, es una vía muy rápida de acción de los neurotóxicos, en la tabla siguiente se puede apreciar la toxicidad de estos agentes:

	<b>LCt50</b> Inhalación, mg.min/m <sup>3</sup>	<b>LD50</b> Piel mg/individuo
Tabun	200	4000
Sarin	100	1700
Soman	100	300
VX	50	10

Valores de concentraciones letales de agresivos químicos nerviosos.



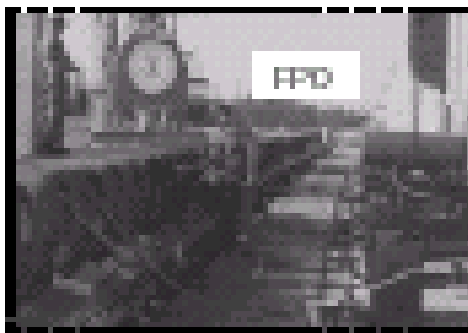
La dosis letal 50 (LD50) significa que la población expuesta a esa contaminación, el 50% morirá en un plazo relativamente corto después de la misma. Cuando se trata de inhalación, una forma de medir los efectos de la exposición es la LCt50, que tiene en cuenta el producto de la concentración (C) por el período de exposición (t) en el 50% de letalidad.

### 6.2.3. Clasificaciones de los agresivos químicos

**Por su persistencia** se clasifican en Persistentes (7 horas), Semipersistentes (3 horas) y no persistentes (10 minutos). **Por su período de acción**, instantáneos (efecto inmediato), de corto período (actúan en horas) y de efecto retardado (actúan a partir de la 48 horas). **Por su forma de penetración en el organismo**, por inhalación o por vía cutánea. **Por su forma de dispersión**, en frío, por calor o mediante explosión.

Una de las formas de clasificación mas comunes es la que toma en consideración **sus efectos** y en este caso se agrupan de la siguiente manera:

- **Letales** y dentro de estos están los denominados como sofocantes, neurotóxicos, hemotóxicos y vesicantes.
- **Incapacitantes** que pueden ser, físicos, psíquicos o neutralizantes (lacrimógenos, estornudógenos, vomitivos o irritantes).
- **Fitotóxicos** que pueden ser defoliantes, herbicidas o esterilizantes del terreno.



*Interiores de la Planta Edgewood Arsenal, zona de fabricación del agente Mostaza y la planta Pine Bluff Arsenal (Arkansas, EE.UU) , descarga de gas mostaza.*

#### 6.2.4. Clasificación militar de los agresivos químicos

Se denominan como Agentes V (nerviosos se les asigna el color verde), Agentes G (neurotóxicos, se les distingue por el color amarillo) y Agentes H (color rojo, vesicantes) ( US Department of Defense, 1990).

En general cuando lo que se pretende con el uso del agresivo químico es la contaminación del aire, se suelen utilizar agentes no persistentes en forma de nube de vapor o aerosol provocando una escasa contaminación del terreno, por el contrario cuando lo que se pretende es la contaminación de este, se utilizan agentes persistentes dispersados en forma líquida. La principal vía de entrada en el organismo humano en el primer caso de ataque es la respiratoria y en el segundo caso la transcutánea.

##### 6.2.4.1.1. Agentes vesicantes (H)

Son líquidos oleosos incoloros y con ligero olor a mostaza, provocan quemaduras y vesículas en los tejidos expuestos. En este tipo están la Iperita y Lewisita.



*Fabricación militar  
japonesa de ácido  
hidrociánico*

##### 6.2.4.1.2. Agentes hemotóxicos

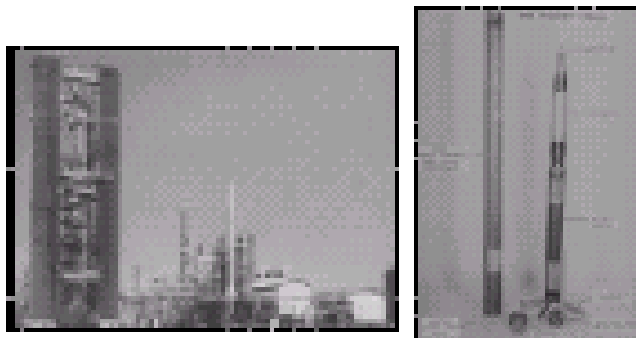
Son gases compuestos de cianuro, cuando son metabolizados en la sangre crean la muerte de los glóbulos por anoxia, actúan de manera rápida y cursan con convulsiones y pérdida de conocimiento

##### 6.2.4.1.3. Agentes sofocantes

Pueden ser gases o líquidos volátiles a base de fosgeno, cuando sus vapores son respirados, provocan la destrucción y parálisis del sistema respiratorio.

##### 6.2.4.1.4. Agentes nerviosos (V)

Se trata de ésteres alquílicos del ácido .S-dialquilaminoetilmetilfosfonotiolico, se trata de elementos muy persistentes y de efectos muy pronunciados. El papel detector lo tiñen de color verde.



*Planta de fabricación de VX en Newport (Indiana,EE.UU) y cohete M55 de 115-mm portador de VX o Sarin.*

Son en general letales, elementos típicos de estos agentes son el Sarin, Soman, Tabun y el gas VX. Suelen ser derivados del ácido metilfosfonofluorhídrico o dialquílfosforoamidocianhídrico, en general y salvo el sarín no son persistentes, son de efectos más suaves que los anteriores y tiñen el papel detector de color amarillo-anaranjado, son incoloros, insípidos e inodoros.

Concretamente se trataría de los siguientes productos:

Tabun, o-etil dimetilamidofosforocianida, denominación GA, elemento fácilmente fabricable, forma parte de arsenales de países no muy desarrollados.

Sarin, isopropil metilfosfonofluorhidrato, denominación GB, sustancia volátil.

Soman, pinacolil metilfosfonofluorhidrato, denominación GD, actúa por inhalación y contacto con la piel.

Ciclohexil metilfosfonofluorhidrato, denominación GF, baja volatilidad, actúa por vías aéreas y piel.

O-etil S- disopropilaminometil metilfosfonotiolato, denominación VX, material muy persistente, fundamentalmente actúa por vía dérmica en forma de aerosoles o gas.

#### **6.2.4.1.5. Agentes incapacitantes**

Todos los agentes letales cuando se suministran en pequeñas dosis pueden actuar como **incapacitantes físicos** de duración limitada, cuando se usan drogas como el BZ y LSD se produce la **incapacitación psicológica** actuando como alucinógeno, y cuando se utilizan gases lacrimógenos o estornudógenos se produce la **neutralización** temporal.

#### **6.2.4.1.6. Agentes fumígenos**

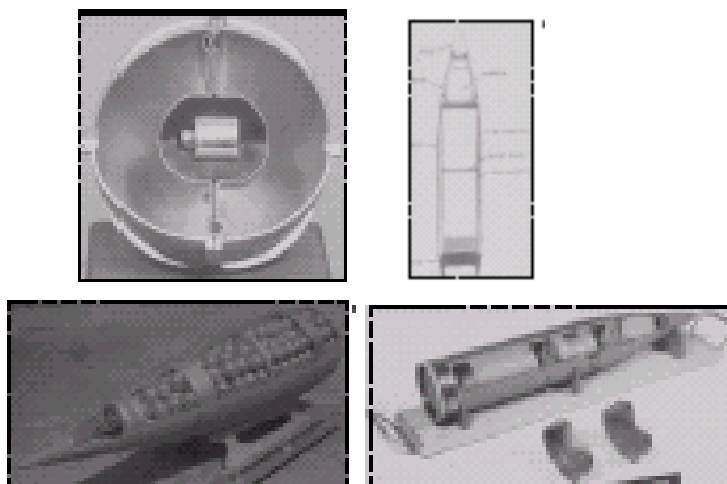
Otros agentes químicos utilizados con propósitos de ocultación, cegamiento, enmascaramiento de agentes químicos o biológicos o con efecto de señalización o

dispersión de la atención del adversario. son los agentes fumígenos, que se clasifican como humos y nieblas que suelen ser compuestos de fósforo blanco, anhídrido sulfúrico, ácido clorosulfónico, cloruros de estaño, silicio y titanio o cloruro de cinc, esparcidos desde botes de humo o candelas.

#### 6.2.4.1.7. Agentes incendiarios

Otros agentes químicos son los incendiarios que se pueden clasificar según sus efectos en agentes de combustión espontánea (fósforo blanco) o de fácil combustión (gasolinas) y según su composición se pueden agrupar en aquellos que incluyen combustible y comburente (termitas y termatos), aquellos que aportan combustible pero utilizan el oxígeno ambiente como comburente (mezclas de fósforo, metales alcalinos, hidrocarburos líquidos, hidrocarburos gelatinizados).

El caso del agente incendiario denominado como el NAPAL, se trata de un arma binaria. En el caso concreto del NAPAL, se tratan de dos sustancias que separadamente se fabrican habitualmente para la industria civil (isopropanol + difluoruro de metilfosfonio y Sarin+ácido fluorhídrico) y por lo tanto se hace difícil la detección de su fabricación con destino bélico.



Proyectil de 155-mm binario M687 GB2, portador de agresivos químicos. Cabeza del cohete Honest John, portador de agentes nerviosos. Bomba esférica M139 del cohete Little John, rellena de Sarin.

### 6.2.5. Detección e identificación de agentes químicos

La detección de los agresivos químicos desde el punto de vista de la seguridad se dirige a alertarnos de la presencia de atmósferas tóxicas y por lo tanto la necesidad del uso de medias de protección, así como a identificar la naturaleza y la concentración del agresivo que nos determinara el tipo de protección a utilizar y por último nos indicara el final de la presencia tóxica y por lo tanto cuando y donde se puede eliminar las medidas de protección que no hay que olvidar limitan de manera significativa la operatividad del personal expuesto (“chemical Systems Laboratory”, 1980).



*Sistema de detección de agresivos químicos instalado en un navío de combate y soldado con equipo NBQ monitorizando el terreno con equipo para detección de agresivos químicos.*

La detección ayuda a la localización de zonas contaminadas y sirve además para la preselección de la toma de muestras en los puntos más significativos, disminuyendo de esta manera la cantidad de muestras a analizar para obtener valores significativos.

Un buen detector debe de cumplir una serie de requisitos generales tales como (Department of the Army, 1992):

- velocidad de respuesta rápida (tiempo en el que nos indica el tipo y concentración de agresivo).
- debe de poseer una sensibilidad adecuada (mínimo valor en ppm. pe. capaz de detectar).
- debe de poseer discriminación sobre los diferentes agresivos.
- su tiempo muerto (tiempo que tarda en estar de nuevo operativo) debe de ser corto.
- deben de ser fácilmente descontaminables, sencillos, manejables, fiables y robustos, estancos y autónomos, con capacidad de trabajo en la oscuridad y a ser posible con posibilidad de almacenar y post-procesar medidas junto con otros datos como horarios y posiciones, incluso en ocasiones teletransmitir toda esa información y poseer un bajo consumo (gran autonomía), bajo mantenimiento y fácil calibración.



*Detectores de agentes químicos portables IMS.*

Puesto que la detección es algo vital en este tipo de actuaciones, se deberá de garantizar en todo momento su operatividad por lo cual los equipos siempre estarán en buen estado de funcionamiento-calibración y con operadores experimentados, en ocasiones será conveniente duplicar sus existencias, garantizando un servicio técnico de asistencia propio o contratado competente y rápido que a su vez poseerá un almacén de componentes básicos adecuados al uso, a la tasa de averías y a la vida útil estimada para los equipos.

Los métodos de detección y medida variaran respecto de su complejidad y precisión en función de cual sea su ámbito de aplicación, por ejemplo laboratorios fijos o en el propio terreno. En este último caso estos métodos también deberán de cumplir el que se trate de sistemas fiables, rápidos sencillos, sensibles a los elementos a detectar y no al ambiente, autónomos, leibles en condiciones de nocturnidad y con sencillez, resistentes a ser mojados, y a los golpes y gran estabilidad. Como se comprenderá la conjunción de todas estas características junto con la utilidad simultanea para la gran cantidad de diferentes agresivos existentes y sus diferentes características físico-químicas hace bastante compleja la existencia de estos sistemas de detección. Los sistemas de detección buscan únicamente poner de manifiesto la existencia de agentes químicos en un primer estadio, para tomar desde ese momento y hasta que se identifique o desaparezca las máximas precauciones que conllevaran a su vez molestias para el sujeto expuesto.

#### **6.2.6. Métodos de detección y de identificación**

La protección frente a la agresión química va a requerir previamente su detección-identificación y cuantificación para a partir de ese momento establecer las correspondientes medidas de precaución incluidas las delimitaciones de las zonas contaminadas y por decontaminar (“The Chemical Strategy”, 1988).



*Soldados con equipo NBQ y detector portátil de agresivos químicos.*

La identificación subjetiva será la determinada por los propios sentidos de la persona y la objetiva aquella que resultara del uso de aparatos o procedimientos físico-químicos que por separado o en conjunción nos evidenciaran la presencia y naturaleza del agresivo químico.



*Equipo de campo tomando muestras de posible contaminación*

#### **6.2.6.1.1.1. Métodos subjetivos**

##### **Basados en las características organolépticas del agente**

Por el olor, sabor, color o sus interacciones con el medio incluido el organismo, puede detectarse la presencia de estos agresivos, esta detección puede ser errónea respecto del intento de su identificación, habida cuenta la existencia de elementos con características similares así como debido a la propia acción del agresivo que puede desvirtuar los sentidos con los que se detecta (p.e. vista y olfato). Este es un buen método en tanto el personal este al corriente de la

información que deba de manejar y en tanto no se disponga de otro procedimiento más adecuado.

#### **Detección subjetiva de agentes químicos líquidos**

Cuando se utilizan los agresivos en forma líquida o aerosoles de alta concentración, se pueden en ocasiones visualizar gotas sobre las superficies expuestas, cuando estas superficies sean muy absorbentes, pueden desaparecer esas gotas pero muy probablemente quedaran manchas oscuras de aspecto oleaginoso. Cuando se dispersan sobre superficies húmedas, producen una fina película irisada que durará según la persistencia del agente. Los agentes químicos dispersados en forma química en baja concentración, forman rápidamente vapores y microgotas que resultan de muy difícil detección visual.

#### **Detección subjetiva de agentes no líquidos**

Tanto los agentes en forma de sólidos pulverulentos como gaseosos, forman nubes que se desplazan por el terreno arrastradas por las corrientes de aire y guiadas por el y los diferentes obstáculos naturales que se encuentran sobre el terreno. En ocasiones el color de la nube puede servir para su identificación para ello hay que disponer además de la suficiente iluminación ambiente y localizar la emisión en los instantes iniciales cuando los agresivos se mantienen en concentraciones elevadas, pero en general se utilizarán agentes incoloros o enmascarados con agentes fumígenos, razones por las cuales su detección en general no se podrá realizar hasta que se puedan utilizar los equipos adecuados.

#### **6.2.6.1.1.2. Detección por sus efectos inmediatos sobre el organismo**

Los agentes químicos producen de inmediato sintomatología en el organismos expuesto, por lo tanto estos síntomas alertan de su presencia, sin embargo puede que para su detección la concentración requerida sea tan elevada que la alerta sea simultánea con sus efectos nocivos irreversibles una vez transcurrido su período de latencia. así pues para el caso del ácido cianhídrico (AC), arsenamina (SA) e hiperita (HD) los síntomas no se producen de manera inmediata salvo cuando las concentraciones de ácido cianhídrico sean altas en cuyo caso se producen aceleraciones cardíacas y respiratorias tras lo que sobreviene la muerte.

Los neurotóxicos incluso en bajas concentraciones producen efectos detectables inmediatos tales como la fluidificación de la nariz, la opresión en el pecho y las alteraciones de la visión, tras lo cual suele suceder la muerte, por lo que la detección de sus efectos no sirve para protegerse.

#### **6.2.6.1.1.3. Métodos objetivos de detección e identificación**

##### **6.2.6.1.1.3.1.1. Métodos físico-químicos**

##### **6.2.6.1.1.3.1.2. Espectrofotometría de llama**

La comparación de los espectros de emisión producido por la combustión de un gas (generalmente hidrógeno) en atmósfera no contaminada y contaminada,



permitirán detectar e identificar la presencia del agente químico. Cuando existen en los compuestos átomos de azufre o fósforo en la combustión se emiten espectros en la zona de los 393 nm para el azufre y 525 nm para el fósforo. La emisión de luz es filtrada y concentrada sobre lentes y se envía sobre un fotodetector que la convierte en una señal eléctrica de forma proporcional. Existen aparatos que de forma automática realizan este proceso y en su caso disparan la correspondiente alarma. Un equipo típico de estos es el denominado por las FAS (\*). como DETALAC usado para neurotóxicos en forma de vapor o el AP 2C que posee una rápida respuesta, detectara el agresivo aunque se encuentre en forma de polvo o aerosol, poseerá un tiempo muerto bajo y detectara incluso precursores de los agresivos.

(\* ) fuerzas armadas



*Espectrómetro móvil de agresivos químicos, detector portátil de este tipo de agresivos.*

#### **6.2.6.1.1.3.1.3. Reacción química con una enzima**

Este procedimiento se usa exclusivamente para la detección de neurotóxicos y hemotóxicos. Se suele utilizar una enzima similar a la colinesterasa presente en la conexión neuromuscular. Esta enzima, se riega con un compuesto químico que se hidroliza en presencia de la enzima, produciendo tiocolina. Los productos de la reacción de hidrólisis pasan a una célula electroquímica donde se oxida la tiocolina, produciendo una corriente eléctrica. La presencia del agresivo inhibe la actuación de la enzima y por lo tanto reduce la concentración de tiocolina en la célula electroquímica, variando la corriente eléctrica que a su vez activa el sistema de alarma. Un equipo típico de estos es el denominado por las FAS. como NAIAD usado para agentes nerviosos y ácido cianhídrico en altas concentraciones.

#### **6.2.6.1.1.3.1.4. Por ionización**

Se trata de la comparación de la ionización del aire cuando esta presente la contaminación de cuando está libre de esta, la ionización se consigue mediante la

presencia de una fuente radiactiva de baja actividad y largo período de semidensintegración, tal y como el Americio 241, emisor beta-gamma o el Níquel 6, el aire es aspirado por una bomba y filtrado por una membrana semipermeable de silicona que deja paso a ciertas sustancias orgánicas. Los iones negativos (vesicantes) y los positivos (neurotóxicos) y la relación masa/carga sirve como mecanismo de discriminación y medida. Las diferencias de ionización se traducen en diferencia de corrientes que dispararan los mecanismos de alarma. Un equipo típico de estos es el denominado por las FAS. como ELAC o CAM.

En general los sistemas de detección descritos están concebidos para un determinado agresivo, razón esta por la que se requerirá la utilización simultanea de diferentes equipos para cubrir un espectro de agresivos habituales.



*Sensor remoto de agresivos químicos.*

Existen una serie de detectores de gases de uso civil tales como:

#### **6.2.6.1.1.3.1.5. Detectores de estado sólido**

Capaz de detectar gases tóxicos y explosivos desde concentraciones bajísimas y con un abanico de más de cien compuestos distintos,. Sus principios de funcionamiento se basan en insertar dos electrodos dentro de un óxido metálico poroso a los gases, la conductividad eléctrica del circuito cambia proporcionalmente a la cantidad y tipo de gas, la señal eléctrica es amplificada y registrada. La vida de estos detectores es larga (diez años) y su resistencia a explosiones y corrosiones es muy buena.

#### **6.2.6.1.1.3.1.6. Sensores electroquímicos**

Son selectivos y sensibles para una buena gama de gases, originariamente se basan en un puente eléctrico que detectaba la concentración de oxígeno en el aire. Poseen un bajo consumo pero tienen como inconvenientes el fenómeno del secado electrolítico, envenenamiento de este, fragilidad de la membrana, sensibilidad a alta concentraciones, por lo que su vida útil es corta (dos años) y su fiabilidad escasa.

Cuando se utilicen detectores hay que ser conscientes de las limitaciones de los equipos utilizados para evitar que nos enmascaren situaciones peligrosas y saber discernir las falsas alarmas que producen. Estos están muy condicionados por lo

general por el estado físico del agresivo que queremos detectar, generalmente trabajan con vapores pero los polvos y aerosoles son difíciles de detectar y en general los compuestos químicos más peligrosos son de baja presión de vapor por lo que generan pocos vapores.

#### **6.2.6.1.1.3.1.7. Métodos químicos**

Estos métodos de detección e identificación se basan en la observación de los productos de la reacción química generada entre ese agresivo y una serie de reactivos predeterminados. Los cambios de color, apariencia física, etc., pueden conducir a una identificación precisa del agente químico. El sistema de detección tiene que propiciar su uso sobre el terreno y por personal no experto, razones estas por las que se utilizan sistemas simplificados tales como:

- Paso forzado de aire presuntamente contaminados por filtros de papel (materiales porosos) impregnados de reactivos, para observar los cambios de color y apariencia de ese filtro. Este método se utiliza para la detección e identificación de agresivos en forma de vapor y aerosol.

- Depósito del agresivo por gravedad sobre un material poroso (p.e. filtro) que se encuentra impregnado de reactivos. El cambio de color identificará el agente que para este método suele ser agresivos líquidos, aerosoles o gases en alta concentración.

Generalmente los papeles detectores son autoadhesivos y se colocaran en las superficies externas de uniformes, vestimentas, vehículos, etc. Los cambios de color se compararan con las escalas suministradas por el propio equipo detector. La siembra de detectores deberá de realizarse de manera que pueda evidenciar la contaminación, su nivel y distribución local.

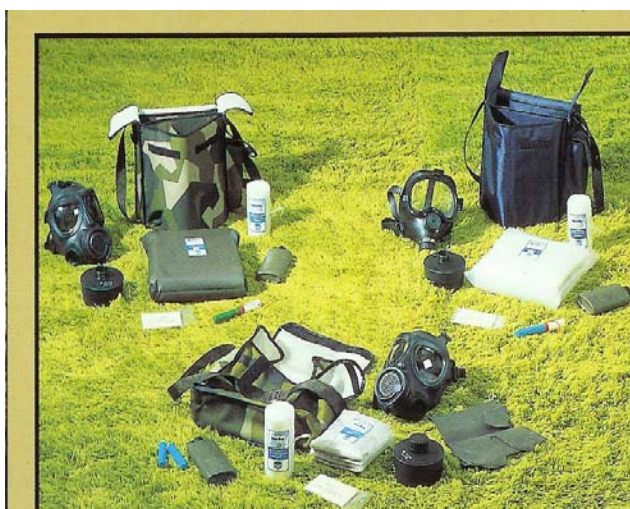
#### **6.2.6.1.2. Protección individual y colectiva contra los agresivos químicos**

La protección contra las armas químicas, se basara la protección física de las personas (vías respiratorias, ojos, cuerpo...) individualmente y colectivamente, el pretratamiento y tratamiento sanitario de las personas expuestas o con riesgo de exposición, la detección, identificación y medida de la contaminación y la recuperación de personas y objetos por descontaminación.

La protección de la población civil frente a este tipo de agresivos se realizara mientras se procede a su evacuación a zonas seguras o a los refugios instalados en la zona de conflicto. Para este lapsus de tiempo, se pueden proteger las vías respiratorias y ojos con máscaras sencillas, en su caso adaptadas para niños, una vez se sitúen en zona segura, se procederá a su monitorización, descontaminación, tratamiento y avituallamiento, el refugio mediante sistemas de filtrado, mantendrá el aire en su interior en condiciones aceptables.

El objeto de la protección es el de aislar al usuario del ambiente hostil permitiéndole con garantías una cierta libertad de movimiento. Tradicionalmente la protección frente a los gases tóxicos, se limitaba a las vías respiratorias, mediante los diferentes tipos de mascarar antiguas o equipos autónomos. En la actualidad se conoce la insuficiencia de del uso exclusivo de estas protecciones habida cuenta de que se han desarrollado materiales químicos,

incluso moléculas sencillas de bajo peso molecular (p.e. CNH) así como agresivos biológicos o partículas radiactivas (p.e. Tritio), que su vía de penetración es cutánea, la piel es el órgano mayor del hombre, con una superficie de casi 2 metros cuadrados, permeable en mayor o menor grado a los productos orgánicos y sensible a los inorgánicos. Por lo tanto se hace necesaria su protección íntegra.



Equipo de protección individual NBQ.

### 6.2.6.1.3. Protección de vías respiratorias (Kelley, JL, 1994)

#### 6.2.6.1.3.1.1. Tipos de mascarar

Ordenadas de menor a mayor complejidad y nivel de protección:

Máscaras buco-nasales de material adsorbente o filtros de polvo.

Mascarillas con cartuchos filtrantes para polvos o vapores.

Mascara completa con cartuchos filtrantes para vapores y partículas (polvo y aerosoles).

Mascara completa con filtros y sistema de ventilación asistida.

Mascara completa con equipo de respiración autónomo. (por botella o red de aire).

De los cinco tipos mencionados, en el caso de la defensa NBQ solo se consideran útiles la mascara antigás completa con cartucho filtrante o con equipo autónomo de respiración..

#### 6.2.6.1.3.1.1.1. Mascara antigás

Consiste en una pieza facial completa de un elastómero de especial resistencia a los agresivos que se adapta perfectamente al contorno facial mediante un marco de ajuste con un atalaje. Con estos sistemas quedan cubiertos, la boca y

nariz, además de proteger ojos y la piel más sensible y fácilmente contaminable. La máscara obliga a que todo el aire que consume el usuario por boca o nariz entre a través de un solo punto (Boquilla de conexión) en el que se ubica el cartucho filtrante o la alimentación de aire comprimido (Kelly TL, 1998). Este aire limpio y seco es dirigido a través de canales y válvulas, para desempañar oculares y reducir volumen muerto pasando al usuario a través de nariz o boca.

El aire consumido por el usuario de la máscara es expulsado por el acople interno y la respectiva válvula. Las máscaras deben de poseer una serie de accesorios que hagan posible su uso prolongado y la funcionalidad normal garantizando las comunicaciones orales, mediante teléfono, megáfono, etc. además de facilitar el uso de gafas correctoras, no deformación y amplitud suficiente del campo visual, uso diurno-nocturno, protección ocular balística y contra radiaciones.



*Máscara "antigas"  
Infantil (Israel)*

#### 6.2.6.1.3.1.1.2. Filtros de aire

Los cartuchos filtrantes polivalentes tienen la función de separar del aire antes de que este sea consumido por el usuario, todas las agentes nocivos para la salud, sea cual sea su estado físico, partículas gruesas (polvo) humos o nieblas (aerosoles) bacterias y virus (microorganismos) y vapores y gases. Para conseguir esto el cartucho dispone de dos elementos filtrantes en serie, que son :





*Diferentes tipos de máscaras militares NBQ.*

#### **6.2.6.1.3.1.1.3. Filtro HEPA o ULPA**

Este filtro con apariencia de papel plegado, retiene todas las partículas que van suspendidas en el aire que lo atraviesa, su eficacia es muy alta (del orden de 99.999 %) para partículas hasta 10 nm.

#### **6.2.6.1.3.1.1.4. Filtro de carbón activo**

Constituido por un lecho de granos de carbón activo que actúa como absorbente de todas las moléculas pesadas que acompañan al aire. El carbón activo retiene las moléculas por un fenómeno físico (no hay reacciones de neutralización) llamado adsorción, por el que las moléculas de un peso molecular mayor a 50 se adhieren a la superficie de la multitud de poros que contiene el grano de carbón (1 gramo de carbón tiene una superficie activa de 1.000 a 3.000 m<sup>2</sup>).

Ambos filtros se encuentran en una carcasa de aluminio con rosca de conexión a la máscara normalizada.

Las limitaciones de este sistema de filtración son evidentes : filtran el aire, no se pueden utilizar en atmósferas bajas de oxígeno (< 15%) . no es tampoco efectivo con gases tóxicos de bajo peso molecular como et CO, NH<sub>3</sub>, CNH, o CICH si bien los filtros militares por su impregnación tipo ASC ofrecen cierto nivel de protección.

**C-Cover S/89**  
The inexpensive NBC Troop Survival Aid

**GET DOWN - COVER UP - DEFEND - MOVE OUT!**

C-Cover S/89, is a thin, transparent, plastic, protective garment, with a unique design, compactly rolled into a minimum of space, ready to be donned within less than 10 seconds.

The Zig-Zag-folded Body Cover has a special patented sleeve construction, allowing the arms to "swim" easily into the sleeves through one common-sleeve opening.

The Foot Covers are long enough to also protect the legs and have soles with an extra reinforcement around toe and heel, to avoid any penetration of the NBC-hazard film by rough ground abrasion.

**Poncho CD/100 Poncho N/60**  
for Immediate Protection

Free falling drops of Chemical Warfare Agents, can even penetrate Your C-proof combat uniform!

This, disposable, plastic Poncho, is made either fully C-proof in 100 microns, or Splash proof in 60 microns.

As a tarpaulin, it covers an area of 1.5 x 2.5 m. (3,75 sqm). The Poncho comes compactly rolled and ready for immediate use.

**C-Cover Dress S/97 at Your Service**

The most advanced, impermeable, NBC Protective Garment, ever produced.

In service with the Swedish Marine Forces since 1997.

Lightweight and disposable. C-proof, for more than 24 hours. Dull and military green. Proven spray tight and available in L and XL.

**Military Service Kit KS/97**

*Catalogo de productos de protección personal NBQ.*

#### 6.2.6.1.3.1.2. Equipos autónomos

Consisten en una botella con aire comprimido a 200 atmósferas de presión, este aire, pasa primero a través de un manoreductor que reduce su presión a 5 atmósferas. Después por un tubo flexible conduce hasta la válvula de la cara, roscada en la máscara, esta válvula deja pasar el aire comprimido en función de la demanda que solicita el usuario a cada inspiración, mediante un sensible sensor de presión.

Este sistema aísla totalmente al usuario del ambiente contaminado, al tener su propia fuente de aire, incluso se puede hacer que la presión en el interior de la máscara sea siempre positiva. Como inconvenientes esta su elevado peso, limitación de tiempo (20 minutos) y capacidad de movimientos.

#### 6.2.6.1.4. Trajes de protección



*Protecciones personales de vías aéreas y ojos, diferentes épocas.*

##### 6.2.6.1.4.1.1. Traje hermético

Estos tipos de trajes aíslan totalmente al usuario del medio, encapsulándolo en una burbuja hermética en cuyo interior se renueva permanentemente el aire. En el interior el usuario carga con los componentes del equipo autónomo (botella, tubos, mano reductores, etc.) y la máscara antigás completa. Este sistema ofrece la mejor protección, pero su empleo debe limitarse a circunstancias muy especiales, el equipo completo es muy pesado (hasta 25 Kgr), origina una gran dificultad de movimientos (efecto globo), es muy caro y solo se puede usar por cortos periodos de tiempo por ello se recomienda solo para el trabajo de especialistas entrenados y en circunstancias de muy alto riesgo (Cole, RD, 1983).



#### 6.2.6.1.4.1.2. Traje impermeable contra salpicaduras

Es del tipo mono de trabajo realizado en materiales impermeables, con capucha adaptable a la máscara y elásticos para guantes y cubrebotas. se puede utilizar con máscara y filtro o con equipo autónomo y es mas ligero y confortable que el anterior dando un grado de protección significativo.



*Diferentes trajes contra contaminación NBQ.*

#### 6.2.6.1.4.1.3. Traje de protección permeable al aire

Este tipo de traje se desarrollo en los años 50 para el ejercito, debido a la necesidad de disponer de un sistema que ofreciera a tos soldados protección durante los largos periodos de tiempo (>24 h) en ambiente contaminado NBQ. Los trajes impermeables son una barrera infranqueable para disipar el calor generado por el usuario. Estos trajes son cómodos y el precio no es alto, su limitación esta en que la protección que ofrecen frente a las salpicaduras es baja por lo que su uso requiere el análisis previo de información sobre la zona de riesgo.

#### 6.2.6.1.5. Consideraciones sobre el material de protección

Existen factores que han dado origen a muchos accidentes por no tener en cuenta que al trabajar con equipos de protección personal pueden surgir problemas tales como la dificultad de movimientos que origina al usuario y su velocidad-reflejos, el stress-fatiga que originan, el redimensionamiento personal que suponen, la limitada resistencia mecánica de los mismos en su uso en campaña, para paliar en parte estas dificultades, se requiere el entrenamiento del personal y la elección y renovación tecnológica de equipos.

Otros riesgos son los derivados de la permeabilidad de los elastómeros y plásticos a los agresivos en un periodo mas o menos corto dependiendo de su naturaleza, sin que exteriormente se observe ningún daño aparente, por lo que el

usuario no se alerta del peligro que corre. Por ejemplo, el caucho de silicona utilizado en muchas mascarar civiles, o el material impermeable de algunos trajes, no ofrece protección frente a los agresivos vesicantes o neurotóxicos. Por esta razón es también muy conveniente el uso de dos pares de guantes al trabajar con líquidos de alto riesgo.

Una segunda consecuencia de lo antes dicho es que los plásticos y elastómeros absorben el agresivo permaneciendo este perfectamente activo en su interior durante largas periodos de tiempo, sin verse afectado por los métodos habituales de descontaminación. Este material (traje, mascara, guante, bota, etc.) ira cediendo poco a poco el tóxico al usuario con el riesgo que eso supone para el y sus acompañantes.

#### **6.2.6.1.6. Recomendación del empleo de equipos OPCW**

**(Organismo Internacional para el control de las armas químicas)**

NIVEL DE RIESGO	PROTECCIÓN VÍAS RESPIRATORIAS	PROTECCIÓN CUTÁNEA
muy alto o desconocido	equipos autónomos	trajes herméticos
alto, peligro salpicaduras	máscara antigás	trajes impermeables
media. no salpicaduras	máscara antigás	traje permeable al aire

*Recomendaciones OPCW para equipos de protección personal.*

### **6.2.7. Aspectos sanitarios destacables a considerar en los agresivos químicos, asistencia en primera intervención.**



*Victima infantil de la exposición a agentes químicos vesicantes.*

Cuando se trata de evaluar las consecuencias para el organismo humano tendrán la incorporación de agresivos químicos, habrá que determinar la dosis de este, que resultara ser la cantidad total de estos que por las diferentes vías y conceptos lleguen al receptor en el período de tiempo estimado. Desde el punto de vista militar, se considera que una dosis que produce la incapacidad continuada durante 24 horas del personal expuesto, es una dosis que produce bajas, independientemente de que estas sean o no reversibles.

Las dosis dependen de las concentraciones de agresivos a las que se vean expuestos el personal, que serán la cantidad de agente por unidad de volumen de aire o unidad de superficie del terreno contaminado, estas concentraciones pueden ser variables en función del lugar del muestreo, por lo que siempre en su cálculo habrá que ser conservador y analizar este estudio con la sintomatología que produzcan en un número significativo de casos.

Las dosis no solo dependerán además de las concentraciones de otros parámetros tales como las vestimentas y usos de medidas de seguridad del personal o estructurales, su tipo de actividad física y estado general, entre otros. Como los contaminantes del aire (agentes no persistentes) buscan su incidencia directa en las vías respiratorias, estos se lanzan para actuar a nivel del suelo, mientras que los contaminantes del terreno se lanzan a alturas variables para conseguir su distribución y concentración adecuada (Brooks et al, 1983).

### **6.2.8. Agentes hemotóxicos no persistentes (NPB en terminología militar)**

Son agentes letales que interfieren la transferencia de oxígeno entre las células y la sangre, provocando su muerte por asfixia. No existe un antídoto completo para sus efectos y necesita para su operatividad dosis elevadas (altas concentraciones). Su vía de acceso principal en el organismo es la respiratoria, de manera que su acceso percútaneo en concentraciones normales es poco problemático.

La sintomatología de los afectados se produce en pocos minutos. Este tipo de agentes degrada por saturación los filtros de carbón activo de las máscaras y sistemas de filtrado, por lo que tras un primer ataque hay que reponer rápidamente los sistemas de filtrado (en menos de 9 segundos).

#### **6.2.9. Agentes nerviosos no persistentes (NPN)**

Son agentes letales que interfieren las reacciones químicas del sistema neuromuscular, provocando la parálisis muscular y la consiguiente defunción por parada cardio-respiratoria. En primera asistencia sanitaria, se puede disminuir los efectos letales pero no la producción de bajas, en el personal afectado que rápidamente sentirá los efectos de su exposición (Kobrick et al, 1990). A temperaturas muy bajas, al igual que en el caso anterior, es muy difícil alcanzar concentraciones suficientes para producir bajas entre el personal portador de máscaras.

#### **6.2.10. Agentes nerviosos persistentes (PN)**



*Evacuación de víctimas civiles en zona de contaminación.*

Sus mecanismos de actuación en el organismo son los expuestos anteriormente, pero sus efectos se producen en el personal expuesto de manera más lenta cuando actúa percutáneamente. Pueden diseminarse desde aviones mediante el sistema de rociado-pulverizado.

Las exposiciones a bajas dosis de agentes nerviosos pueden producir como sintomatología general la hipersalivación, la contracción pupilar, la dificultad en el acomodamiento visual, dolores de cabeza, de pecho, alucinaciones y náuseas. Cuando la dosis de exposición es mayor, aparecen las bronco constricciones, la secreción de mucosas en las vías respiratorias, problemas gastrointestinales, vómitos, micciones incontroladas por relajación de esfínteres convulsiones y pérdidas de conocimiento. La muerte del individuo puede sobrevenir por las parálisis musculares.

Los métodos de tratamiento para este tipo de agentes tienen que utilizarse con extremada rapidez desde que se sienten los primeros síntomas, para esto se utilizan los autoinyectables a base de oximas y atropina que se encargan de reparar la inhibición de la acetil colinesterasa, la atropina es el antídoto típico para las intoxicaciones con organofosforados.

Los agentes VX y Sarin son los mas tratables con oximas, el Tabun tiene mejor respuesta a las Obidoxima y el Soman es mas difícil de tratar y suele responder a el HI-6 (una oxima). Una vez la víctima se encuentra bajo control sanitario, se le someterá a nuevas dosis de atropina y anticonvulsionantes, además posiblemente se harán necesarios cuidados sobre la ansiedad y otros trastornos mentales post exposición.

Como tratamiento profiláctico ante posibles exposiciones de este tipo, se suele administrar tabletas de carbamato o pirodostigmina (Cook,JE et al, 1992), esta no suele dar efectos secundarios. También puede utilizarse el diacepam como protección frente al daño cerebral permanente que puede producir exposiciones intensas a estos agentes.

El tratamiento preventivo hay que iniciarlo como mínimo media hora antes de la exposición, la máxima protección aparecerá a las dos horas de su aplicación y será necesaria la repetición de tratamiento cada ocho horas durante varios días.

#### **6.2.11. El caso del Cianuro de hidrógeno**

Utilizado por los Alemanes en la Segunda Guerra Mundial (Ciclón B) y por los Iraquíes contra Irán y Curdistán, se trata de un elemento muy volátil que afecta básicamente a las vías respiratorias, alcanzando rápidamente concentraciones letales.

La exposición a este agente suele producir en los primeros momentos, cansancio, aumento de la frecuencia respiratoria, dolores de cabeza, alteraciones del pulso, seguidamente el cuadro se agudiza con la aparición de vómitos, convulsiones, fallos respiratorios y pérdidas de conciencia.

El tratamiento consiste en provocar la excreción rápida del cianuro, esto se consigue administrando tío sulfato de sodio, como tratamiento coadyuvante se puede suministrar vitamina B12 (hidroxicobalamina).

#### **6.2.12. En el caso de las arsinas**

Compuestos alifáticos del arsénico (2-clorovinildicloroarsina), Lewisita, la exposición a este agente da sintomatología inmediata como daño a mucosas. Como antídoto se utiliza el British Anti Lewisita que resulta ser el compuesto dimercaptopropanol (Trammel, GL, 1992).

#### 6.2.13. Agentes sicógenos

Que se administran a bajas dosis y causan desórdenes como parálisis, trastornos del sueño, rigidez, etc., con estos se busca la incapacitación temporal de la víctima (puede durar semanas), típico agente de este tipo suele ser el BZ (3-quinuclidinylbenzilate) con cuyo envenenamiento aparecen síntomas como alteraciones de la visión, sequedad de boca, palpitaciones, etc. El LSD podría utilizarse como agente de guerra con estas propiedades si no fuera por su baja estabilidad química.

#### 6.2.14. Agentes vesicantes, mostaza sulfuro y nitrógeno

Este tipo de agresivos crea además de los efectos dérmicos, daños en los ojos, vías respiratorias y órganos internos, el elemento habitual es el 2-cloroetil-sulfuro. Este agente causó la muerte y daños a muchos soldados durante la Primera Guerra Mundial, los supervivientes, durante décadas han manifestado los efectos de su exposición. En la guerra de Irán-Irak (1979-1988), por parte de este último país, se hizo un uso intensivo de este agente, causando más de cuarenta mil bajas de todo tipo (Norman, JE, 1975).



*Soldado Iraní víctima de agente Mostaza*

Muchos pescadores de las costas Danesas y Suecas, sufren la exposición a estos agentes, debido a la contaminación de sus artes de pesca que se producen con los restos de estas armas que se hundieron en esas costas, después de la Segunda Guerra Mundial.



*Pie de un pescador del Báltico, afectado por la exposición al agente Mostaza (foto tomada del hospital Bornholm de Dinamarca, Steen Christensen).*



*Hundimiento de un barco portador de agentes químicos después de la II Guerra Mundial.*

Los efectos de la exposición a estos agentes, suelen comenzar durante las siguientes veinticuatro horas, lagrimeo, estornudos, molestias en la visión, irritaciones de mucosas, diarreas y disfunciones respiratorias.

La lucha contra la infección es básica para la recuperación del paciente. Los fallecimientos atribuibles a este tipo de agentes, se suelen producir por problemas respiratorios severos.

No hay antídotos ni tratamientos específicos para estos agentes, solo tratamientos sintomáticos, broncodilatadores, anestésicos locales, antibióticos. La descontaminación inmediata de la víctima mediante lavado no agresivo de piel y mediante suero fisiológico de ojos evitara su agravamiento y los riesgos para el personal que lo asiste.

### 6.2.15. Agentes vesicantes persistentes (PX)

Estos irritan y dañan las membranas/mucosas, ojos y piel, causando la pérdida de visión y ampollas propensas a padecer infecciones secundarias. En concentración normal no son letales pero sí producen gran número de bajas. Los síntomas se suelen producir tras las primeras horas desde la exposición, el lavado de ojos con abundante agua en los primeros minutos y la descontaminación, prevendrán la producción de bajas. Su actuación transcutánea es una amenaza así como para las vías respiratorias los vapores desprendidos, que suelen persistir durante mucho tiempo en la zona afectada.



*Victimas infantiles de agentes químicos vesicantes e incendiarios*

### 6.2.16. La gestión sanitaria general de la contaminación química

La detección personal o la presunción por la notificación de ciertos datos a un organismo encargado de las emergencias de una agresión de esta índole, puede basarse además de las observaciones efectuadas en apartados anteriores donde se describen métodos y artefactos típicos de estos sistemas, en la sintomatología de las personas presuntamente expuestas en circunstancias y número significativo, tales como: pérdidas de visión repentina, irritación de mucosas, cefaleas, palpitaciones, dolores torácicos, hipersecreción nasal y salivar, pérdidas de consciencia y orientación y otros síntomas típicos de intoxicaciones.



Cuando interviene el equipo de emergencias especializado (Chemical Warfare Review Comisión, 1985) que ira apoyado por fuerzas de seguridad y apoyo logístico, sanitario y otros, irán provistos de sus medios de protección personal desde el inicio por lo que es bastante improbable su contaminación interna, pero cuando se trata de un ataque contra objetivos civiles, es de prever la contaminación en mayor o menor grado de personas y objetos, por lo que se requerirá una asistencia sanitaria de urgencia en el propio escenario, primero delimitar zonas de riesgo y evacuar a afectados a zona segura para hacer un triaje y atender las urgencias vitales tomando medidas contra la contaminación del personal asistente, en segundo lugar proceder a la evacuación controlada de afectados por los salidas controladas (establecer zonas de descontaminación de personas y materiales), es decir transportes de urgencia en los que también se evitara la contaminación y se darán pautas de comportamiento a tal respecto a sus responsables así como al centro sanitario receptor.

Para evitar la dispersión de contaminación en el proceso de asistencia, una medida cautelar de muy buen resultado será la eliminación de las vestimentas y el lavado simple de las personas afectadas, a tal efecto se deberá de proveer la asistencia de ropas de abrigo y útiles de limpieza colectivos así como recipientes de control del material contaminado (incluidos los líquidos producidos) recipientes de seguridad identificados para salvaguardar efectos personales y de identificación, sistemas de iluminación-generación de energía y megafonía-comunicaciones, balizamiento, etc..

Si es reciente el ataque, puede inyectarse atropina con los sistemas autoinyectables hasta tres veces con una cadencia de quince minutos y administrar tabletas de oximas evitando en esta operación el paso a contaminación interna de la externa. Puede presentarse la intoxicación por atropina, en este caso se presenta síntomas como dilatación de las pupilas, boca reseca, piel caliente y seca y taquicardias.

Cuando el ataque se hace con agentes neurotóxicos, la sintomatología habitual serán pupilas contraídas, ojos llorosos, nariz normal, dificultad en la respiración (ruido torácico), dolor estomacal y espasmos musculares.

La zona contaminada será controlada hasta su normalización, para lo que se establecerá un programa de descontaminación de materiales útiles y zonas de interés así como el control ambiental adecuado que asegure la inexistencia de niveles de riesgo por la contaminación provocada.

Para el control sanitario de las personas expuestas a lo agresivos químicos es muy importante el determinar el agresivo y su respuesta biológica en el organismo, así en las fuerzas armadas se tienen pautado protocolos de recogidas biológicas de muestras del personal posiblemente afectado, de esta manera se asegura que la muestra es correcta en el tipo, cantidad, mantenimiento y análisis para las determinaciones que posteriormente habrá que efectuar, así por ejemplo según el US. Army Medical Research Institute of Chemical Defense, para agentes nerviosos, es obligatoria la toma de muestras sanguíneas para estudio de la acetilcolinesterasa, el protocolo establece como se colecta la muestra, el volumen mínimo, la adición de anticoagulantes, el tipo de empaquetado, a donde se remitirá la muestra, que

documentos se acompañarán, documentos referentes a incidencias y custodia del proceso.

Para el sulfuro de mostaza (Lewisita) es obligatoria la toma de muestras de orina y al contrario que con los agentes nerviosos, la muestra de sangre es opcional según criterio facultativo. Para el cianhídrico, la toma de sangre es obligatoria.

La toma de muestras será hecha bajo supervisión de profesionales previniéndose de la contaminación ambiente, la muestra será identificada de manera suficiente e inequívoca, aquí comienza la cadena de custodia. El "Kit" de toma de muestras está en los manuales de citado instituto.

En el caso de las muestras de sangre, la toma se efectuará de manera inmediata, en cuanto se sospecha la contaminación, posteriormente 30-60 días después, se tomará otra muestra para analizar la inhibición de la colinesterasa. El volumen mínimo de la muestra será de 2 ml. y en el recipiente donde se aloje la muestra se añadirá como anticoagulante el ácido EDTA., la muestra de sangre se mantendrá refrigerada (no congelada) tanto en su almacenamiento como envío.

Para las muestras de orina, la toma de muestras se hará de manera supervisada de manera que se eviten las contaminaciones exteriores, la toma se hará de manera inmediata con la sospecha de contaminación, a la muestra inicial seguirán otras tomadas a las 24 horas y 7 días posteriores. El recipiente será un tubo limpio de plástico de 10-30 ml., la orina se remitirá acompañada de hielo que ante la hipotética congelación-expansión de la muestra deberá proveer suficiente espacio.

En la tabla siguiente se aprecia un resumen de técnicas analíticas.

Test	Muestra	Tiempo de informe
Inhibición de la colinesterasa (AChE, BuChE)	sangre	24-48 horas
Hidrólisis de agentes nerviosos (GB, GD, GF)	Orina, sangre (opcional)	72 horas
Sulfuro de mostaza (thiodiglicol)	orina	72 horas

Cuadro resumen del protocolo de toma de biomuestras para diferentes agentes químicos según el US. Army Medical Research Institute of Chemical Defense.

## ANEXO III: ARMAS BIOLÓGICAS

### 6.3.1. Introducción

Las enfermedades en muchas ocasiones han sido cruciales para determinar el curso de la historia, La Peste por ejemplo detuvo a los Cruzados en las puertas de Jerusalén, la misma Peste, se propago por el Imperio Romano durante la época de Justiniano limitando la “gloria” de su imperio, la Disentería diezmo el ejército de Napoleón en su marcha hacia Moscú. En la Guerra de los Boers la Fiebre Tifoidea provocó más bajas que las propias acciones de guerra, durante la II Guerra Mundial la Malaria fue causa de un gran número de bajas en las fuerzas Aliadas en el Sudeste Asiático. En todos estos casos, fueron enfermedades de brotes naturales y tuvieron un peso decisivo en el desarrollo de los acontecimientos históricos (Cowdrey, AE, 1987).



*La muerte acecha Moscú, La Epidemia, B.M. Kustodiev 1905 y los ángeles transmiten la epidemia de Lucas Giovanni 1347-1424*

El hombre desde siempre tal y como se exponía en la introducción de esta Tesis, ha conocido la importancia del uso deliberado de gérmenes como arma de guerra un caso muy dramático por ser de la historia reciente y por el alcance del mismo, fue el que se desarrolló durante la guerra Chino-Japonesa, desde 1937 a 1945, tropas Japonesas de los ejércitos de Kwantung, denominados en clave como Unidad 731, realizaron experimentos en el uso y efectos de agentes biológicos en seres humanos, utilizando principalmente prisioneros de guerra. El campo de experimentación se situó en Manchuria y estuvo a cargo del General Ishii, hasta 1945, cuando un incendio de origen desconocido lo destruyó por completo.. Más de 1.000 autopsias se realizaron con el propósito de completar los estudios de los efectos de distintos agentes biológicos en el cuerpo de las víctimas, incluyendo la exposición a gases y productos químicos diversos. Cerca de 3.000 muertos se cree que fueron el saldo de estos estudios, especialmente provocadas por la exposición deliberada a la bacteria del Ántrax en forma de aerosol. Los Chinos fueron víctimas de varios ataques con armas biológicas desde Manchuria, incluyendo la prueba de armas biológicas sobre Ningpo, en 1940,

donde muchos civiles chinos fueron infectados desde aviones, con *Yersinia Pestis* (“Health Aspects of Chemical and Biological Weapon”, 1970).

La utilización de agentes biológicos en los conflictos modernos ha estado muy limitada por el temor a su difícil control una vez desencadenado el ataque y otras consideraciones tácticas, aunque se han desarrollado programas de investigación militar muy importantes tales como los de la Unión Soviética, por otro lado este tipo de armas se han utilizado con fines terroristas recientemente tales como es el caso en EE.UU (1984) de la secta o Rajneesh en Oregon, que contaminaron con *Salmonellas*, las ensaladas en una cadena de Restaurantes, provocando enfermedades gastrointestinales que afectaron a 750 personas, sin mortalidad, y los casos mas recientes de envíos postales contaminados con *Ántrax* en todo el mundo, después del fatídico acto terrorista del “11 de Septiembre” en New York..

El 12 de Abril de 1972 se ratificó por las Naciones Unidas, la prohibición del uso, almacenaje y producción de armas biológicas, mediante la Convención para la prohibición de todos los métodos de guerra biológica, iniciada en Diciembre de 1971. Esta Convención se analizara con más detalle en apartados siguientes.



*Imágenes de una fábrica antigua de armas biológicas*

### **6.3.2. Los agentes biológicos como armas de guerra**

Se define como Guerra Biológica al uso de agentes biológicos que desencadenan enfermedades producidas por microorganismos, productos biológicos tóxicos, u otros agentes biológicos capaces de causar la muerte o daños a la salud del ser humano o al medio ambiente (Bernstein, BJ, 1987).

Agente Biológico para usos militares es cualquier organismo vivo o sus toxinas usado para provocar enfermedad o la muerte en el adversario sea civil o militar o en sus bienes.

### **6.3.3. Requisitos de un Agente Biológico para ser de valor militar (Estzen,Edgard M, 1997)**

1. Debe causar consistentemente enfermedad que inhabilite o produzca la muerte de los infectados
2. Debe ser de bajo costo de producción
3. Debe permanecer estable durante su producción, almacenamiento, y transporte.
4. Debe ser posible diseminarlo en forma eficiente por los métodos actualmente existentes.
5. Debe permanecer estable posterior a su diseminación Es también deseable que:
6. El usuario debe disponer de una adecuada protección contra el agente utilizado.
7. Debe ser difícil de detectar.
8. Para ciertas situaciones tácticas el período de incubación debe ser corto, y el agente biológico producir rápidamente sus efectos. En otras situaciones (o para agentes mixtos), pueden requerirse períodos de incubación más prolongados.

### **6.3.4. Métodos de ataque**

Generalmente el uso de agentes biológicos como armas de guerra es fundamentalmente estratégico, con agentes de crecimiento rápido en el huésped y alto índice de contagio se puede infectar grandes extensiones geográficas afectando un gran número de tropas y civiles, al efecto de la enfermedad se le sumaría el psicológico y la hambruna provocada por la contaminación de los recursos comestibles de la zona.

Un ataque biológico puede ser militar usando sus métodos tradicionales de aviación, artillería, y otros dispositivos terrestres o del tipo terrorista o de sabotaje, en cuyo caso se utilizan medios camuflados incluso en tiempos y zonas fuera de conflictos(Eitzen, Edward M, 1997).

Los agentes biológicos pueden normalmente ser liberados mediante:

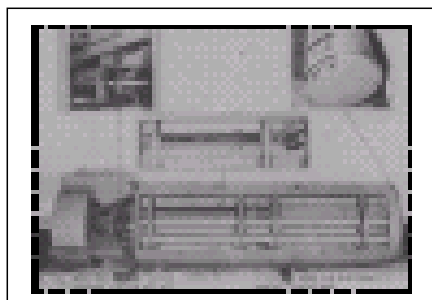
1. Métodos aerotransportados: Mediante aviones, helicópteros o misiles que liberen una nube o aerosol con el agente, o liberen el agente dentro de canisters, bombas o cohetes.

2. Métodos terrestres: Generadores de aerosoles o pulverizadores.

3. Métodos en el Mar: Generadores de aerosol o pulverizadores desde buques de superficie, submarinos, minas flotantes o misiles disparados desde buques.

Los agentes biológicos por sus características, son buenas armas ocultas para actuar contra elementos básicos vulnerables como son los productos alimenticios y el agua, esas características generales son:

1. La dificultad de ser detectados
2. El tiempo requerido para detectarlos
3. La variedad de agentes disponibles y sus posibles combinaciones, así como sus modificaciones.
4. La pequeña cantidad de agentes requeridos
5. Permiten el progreso epidémico
6. No provocan daños al material.
7. Son baratos al compararlos con otras armas

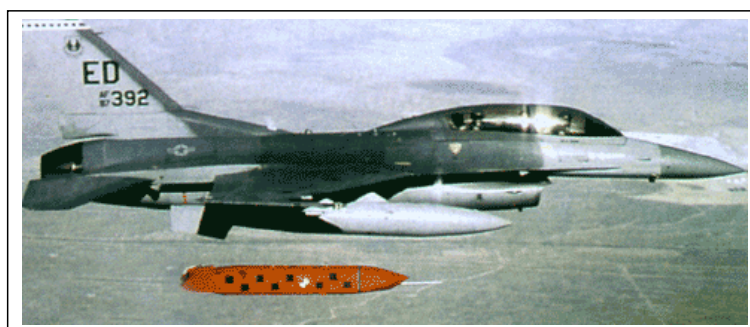


*Proyectil con contenido biológico*

### **6.3.5. Los Misiles Crucero con Armas Biológicas (LACM con cargas BW), una nueva amenaza (“Amenaza de los Misiles Balísticos y de Crucero”, 1996)**

Estados Unidos demostró la efectividad estratégica y operacional de los misiles crucero haciendo un uso importante de los mismos desde navíos de superficie y submarinos de la Marina de Guerra así como desde la aviación de combate en el Golfo Pérsico, el Mar Rojo y el Mediterráneo Oriental lanzados contra Irak, estos misiles fueron los de Ataque a Tierra Tomahawk (TLAM) y los de lanzamiento aéreo convencional (CALCM) contra objetivos "estratégicos". Estos objetivos fueron básicamente cuarteles generales de comando y control, complejos de generación de

energía, hipotéticas instalaciones de armas de destrucción masiva (WMD) y plantas de producción y procesado de petróleo. La opinión general fue que este tipo de armamento demostraron ser un sistema de armas muy efectivo así pues "El concepto del misil crucero (LACM) —que incorpora una plataforma no tripulada, difícil de detectar y capaz de impactar con precisión a grandes distancias—fue validado como un nuevo instrumento importante para los conflictos futuros".



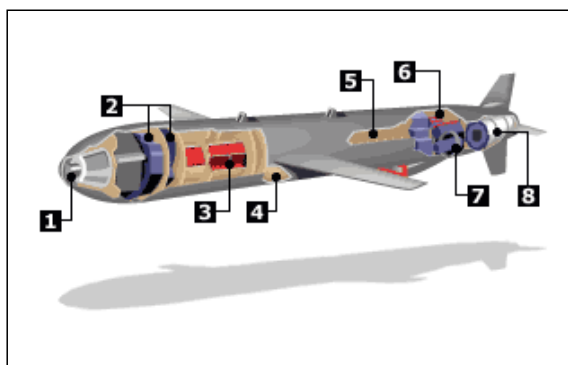
*Avión cazabombardero lanzando misil crucero aire-superficie*

Desde la Operación Tormenta del Desierto, los LACM se han convertido en un elemento importantísimo en las operaciones de ataque militar de los Estados Unidos por su capacidad para penetrar las defensas aéreas enemigas, impactar a grandes distancias (más de 1.600 kilómetros desde la plataforma de lanzamiento para el TLAM sin arriesgar la vida del propio personal y causando importantes daños (supuestamente controlados) al enemigo y efectos psicológicos sobre la población. A la vista de los resultados (en ocasiones magnificados) en general se ha despertado un gran interés hacia los LACM como "armas inteligentes".

La mejora y accesibilidad de tecnologías tales como navegación y guía de precisión, motores turbojets y con turboventilador compactos y eficientes, y materiales de compuesto difíciles de detectar han impulsado de manera decisiva el desarrollo de este tipo de armas, a lo que cabe añadir su fiabilidad y costo.

Las posibilidades de los LACM no sólo por su capacidad para atacar con precisión a grandes distancias con ojivas altamente explosivas, sino también por su potencial para llevar cargas de agentes de Guerra Química y Biológica (CBW) los han posicionado como nuevo armamento de referencia. Los adelantos en las tecnologías de uso dual, tales como la navegación por satélite (el Sistema de Posicionamiento Global-GPS estadounidense y el Sistema de Satélites para la Navegación Global-GLONASS ruso) y los motores pequeños con turboventilador altamente eficientes utilizados en las aeronaves, permiten un ataque de precisión en largo alcance. Sin embargo, esto también permite que los países con menor grado de desarrollo comiencen el uso de estas nuevas armas.

Estados Unidos ha realizado un programa continuado dedicado al desarrollo y despliegue de estos misiles para contrarrestar los aviones y misiles balísticos cada vez más sofisticados de los potenciales enemigos.



Misil crucero, sistemas de guía, propulsión, ojiva explosiva

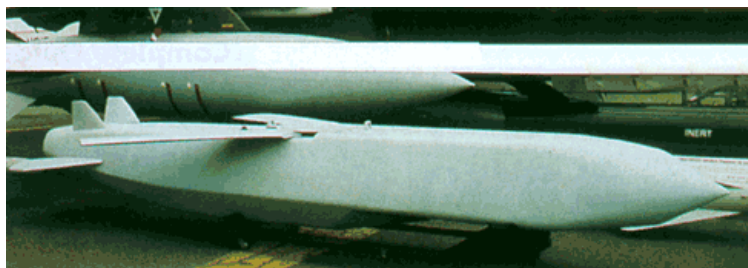
### 6.3.6. Misiles crucero para ataque a tierra: Fundamentos

Una descripción amplia de un misil crucero incluye las siguientes características: un avión no tripulado configurado como arma antisuperficie que tiene la intención de impactar o detonar sobre un objetivo de superficie preseleccionado (tierra o mar); un medio integral de autopropulsión sostenida y un sistema de guía de precisión (usualmente autónomo aunque posiblemente requiera información externa limitada de un operador humano); superficies aerodinámicas que producen elevación para sustentar el vuelo del misil; y el logro autónomo de una fase crucero de vuelo a un nivel predeterminado, relativa al terreno o la superficie acuática sobre la que vuela. Por lo tanto, los misiles crucero representan un subconjunto de Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs) o armas de confrontación.

Las características de bajo costo, fiabilidad y distancia de ataque hacen que los LACM sean ideales para la diseminación de agentes de Guerra Biológica (BW). Como sería el caso para la diseminación por aviones, un LACM subsónico, usando un rociador aerosol empotrado en sus alas y sensores meteorológicos integrados acoplados a la computadora de guía y control, podría alterar su perfil de vuelo y descargar una fuente lineal de agente de guerra biológica adaptada a la topografía local, condiciones micrometeorológicas y forma del objetivo, maximizando así el área letal resultante de la carga biológica. La ventaja de emplear un LACM para el transporte de agentes de guerra biológica en contraposición a un avión es que se elimina el riesgo del piloto; la desventaja es la pérdida de la improvisación del piloto.



Según los expertos en balística "las áreas letales para una cantidad determinada de CBW, en un cálculo muy conservador, son un mínimo de diez veces las de un programa de ataque con misiles balísticos. En la simulación, se asumió un patrón óptimo de distribución de agentes CBW mediante submuniciones para ataque con misil balístico. Para el ataque con LACM, en la comparación se promediaron las distribuciones del peor y el mejor caso. La mayor área de mortalidad de una carga de CBW transportada por LACM se atribuye principalmente a la estabilidad aerodinámica del LACM y la capacidad de distribuir la carga de agente CBW como una fuente lineal. Estados Unidos investigó el uso del misil crucero Snark para transportar cargas de agentes BW y de guerra química (CW) en los años cincuenta y financió proyectos para desarrollar sistemas de diseminación mediante misiles crucero y aviones teledirigidos hasta principios de la década de los sesenta.



*Misiles crucero dispuestos para su montaje sobre avión.*

Además de lograrse una diseminación bastante más efectiva de agentes BW, el transporte mediante LACM subsónico presenta menos problemas técnicos que el transporte mediante misiles balísticos. Existen considerables dificultades técnicas para embalar agentes BW dentro de la ojiva de un misil balístico y asegurar que el agente sobreviva y se disemine como un aerosol a la altura correcta sobre el terreno. La velocidad de reingreso durante la fase de descenso de la trayectoria del misil balístico es tan alta que resulta difícil esparcir el agente en una nube difusa o con la precisión necesaria para asegurar la diseminación dentro de la capa de inversión de la atmósfera. Asimismo, los altos esfuerzos térmicos y mecánicos generados durante el lanzamiento, el reingreso y la descarga del agente pueden degradar la calidad del agente BW. Las pruebas estadounidenses han demostrado que, sin el embalaje apropiado del agente, sólo el 5% o menos de la carga del agente BW es efectivo después del vuelo y la diseminación desde un misil balístico.

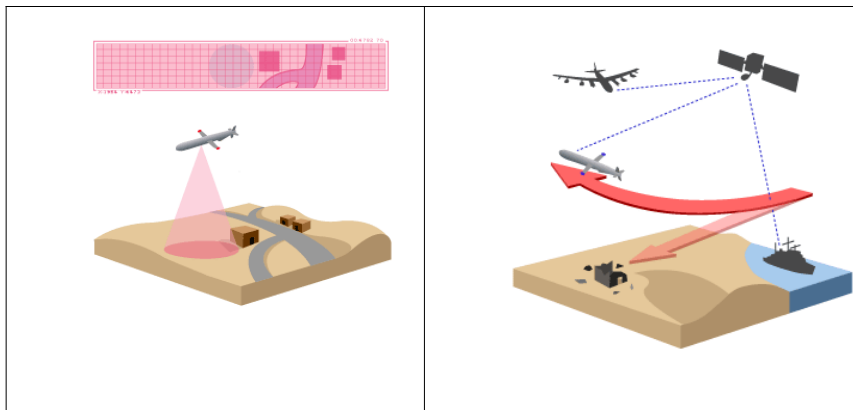
Los LACM comparados con los aviones y cohetes balísticos requieren menos infraestructura de apoyo y sus costos de operación y mantenimiento son menores. El hecho de que puedan residir en recipientes facilita enormemente el mantenimiento y la

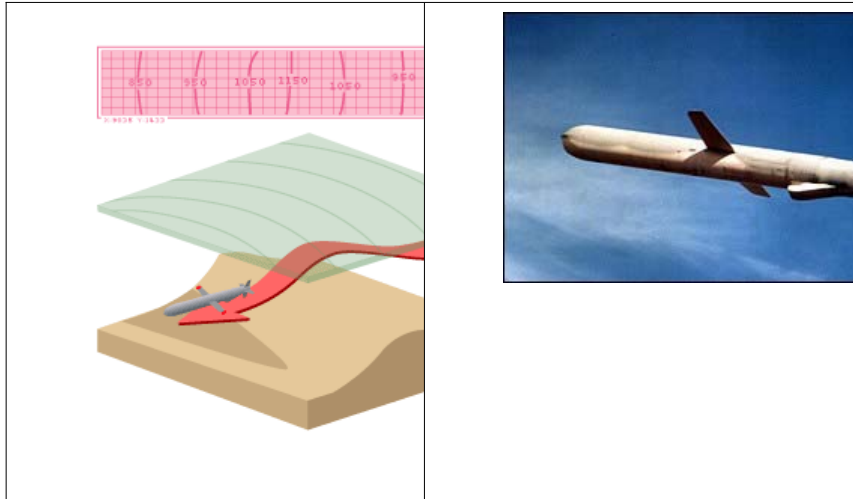
operación en cualquier lugar y condición, además, el hecho de que no necesitan tripulación elimina la necesidad del costoso entrenamiento de pilotos y tripulaciones.

Hay muchos países interesados en conseguir WMD y sus medios de transporte. Estas armas de destrucción masiva son las únicas posibilidades viables para ellos de obtener algún poder estratégico. Teóricamente estas armas conseguirían las tres acciones que se desean lograr—disuadir, obligar y dañar al enemigo— esto no se lo podrían permitir con su escasas fuerzas militares convencionales a su disposición.

El presupuesto de defensa estadounidense es más del triple que el de cualquier nación potencialmente hostil y más que el gasto combinado de Rusia, China, Irán, Irak, Corea del Norte y Cuba. Muchos países a la vista de esto buscan en las Armas de Destrucción Masiva (WMD) y sus vehículos de transporte un medio efectivo de desafiar asimétricamente el abrumador poderío militar convencional de los Estados Unidos. En esencia, las WMD pueden ser el equalizador de un país más débil frente a las fuerzas convencionales más grandes y avanzadas de los Estados Unidos y sus aliados.

Las WMD combinadas con los sistemas de transporte para enfrentamiento, proporcionan a los países menos desarrollados opciones militares y políticas mucho menos costosas que les permitirían lograr objetivos regionales y estratégicos "a bajo precio."





*Sistemas de guiado cartográfico de misiles crucero*

La amplia proliferación de tecnologías de desarrollo y los sistemas de armamentos mismos, junto con la poca efectividad de las barreras a tal proliferación están permitiendo que las naciones conflictivas adquieran WMD y medios de transporte asociados de forma económica. Este es el caso en el área nuclear de la India y Pakistán. Irak disponía de programas en todas las áreas de WMD, armas nucleares, biológicas y químicas, y sistemas de transporte tales como misiles balísticos, aviones y UAV. La existencia de países dispuestos a proporcionar tecnología y asistencia técnica para la producción de este tipo de armas tal y como es el caso de China, Corea del Norte y Rusia, complica el escenario, no solo países tal cual facilitan este macabro comercio, otros países que firman convenios de no proliferación y control de este tipo de armas, a través de operaciones internacionales e intermediarios, proporcionan estos apoyos a regímenes o grupos de su interés.

Según informaciones de los servicios de inteligencia de los EE.UU. durante la Guerra del Golfo Pérsico Irak desplegó Scuds modificados, armados con cargas CW y BW, junto con grandes cantidades de agentes CW. Se armaron unos 25 Scuds con agentes BW, incluyendo 10 con ántrax (¿). El régimen iraquí también mantuvo un avión en un refugio fortificado, equipado con tanques de rociado para dispersar agentes BW. Se estima que si los iraquíes hubieran empleado esta arma el primer día de la guerra terrestre, más de 76.000 de los 320.000 soldados de las tropas de la coalición en el sudeste de la Ciudad de Kuwait hubieran muerto si no se hubieran vacunado contra el ántrax. Posiblemente las amenazas estadounidenses e israelíes de represalia nuclear disuadieron a los iraquíes de lanzar ataques WMD contra las fuerzas de la coalición.

La disuasión se apoya en la represalia y la represalia requiere saber quién ha lanzado el ataque. El uso de un agente BW, dificulta la identificación de la fuente de la enfermedad y el sistema de transporte tal como un LACM de largo alcance, capaz de programarse para volar rutas sinuosas hacia el objetivo, dificultaría la localización geográfica de su lanzamiento así pues el agresor dispone de un método de ataque difícilmente atribuible, dificultando la represalia.

Las armas biológicas brindan la máxima letalidad con la facilidad de su disponibilidad (producción y precio). Las armas nucleares causan destrucción masiva pero son sumamente difíciles y costosas de adquirir; las armas químicas son bastante fáciles de adquirir y producir pero poseen una limitada capacidad de matar; y las armas biológicas poseen las "mejores" cualidades de las dos, por sus características podría decirse que son similares a las denominadas como "bombas de neutrones" que afectan a las seres vivos pero no a los medios materiales, con pocas secuelas de contaminación residual, características excepcionales para que el agresor adquiera sin riesgos la zona atacada.

Tabla 1  
Comparación de armas NBC

Tipo	Tecnología	Costo	Señal	Efectividad			
				Personal protegido		Personal no protegido	
				Táctico	Estratégico	Táctico	Estratégico
Biológica	+	-	-	-	-	+	++
Química	+	+	+	-	-	++	+
Nuclear	++	++	++	++	++	++	++
++ Muy alta	+ Alta	- Más baja					

Fuente: Lester C. Caudle, "La Amenaza de Guerra Biológica", en *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare (Aspectos Médicos de la Guerra Química y Biológica)*, ed. Frederick R. Sidell, Ernest T. Takafuj y David R. Franz (Washington, D.C.: Oficina del Cruzado General en TMM Publications, 1997), 469.

En general se considera como BW efectivos a varios patógenos (bacterias y virus) y toxinas (Tabla 2). Edward Eitzen, un investigador del Instituto de Investigación Médica de Enfermedades Infecciosas del Ejército de los Estados Unidos, observa que en condiciones climáticas favorables, los misiles crucero equipados para transportar ántrax podrían cubrir un área comparable a la de una lluvia radiactiva letal de un arma nuclear que explote en tierra. De forma más rigurosa, la Oficina de Evaluación de Tecnologías del Congreso condujo un estudio en 1993 para investigar la diseminación mediante avión de 100 kilogramos de ántrax en forma de nube aerosol sobre Washington, D.C. en una noche clara y calma. El estudio demostró que podría causar entre uno y tres millones de muertes—300 veces más víctimas que una descarga similar de 10 veces esta cantidad de gas sarín. Un estudio de la Organización Mundial de la Salud en 1970 concluyó que un ataque con BW sobre una ciudad grande (cinco

millones de habitantes) en un país económicamente desarrollado tal como Estados Unidos, usando 50 kg de ántrax diseminados desde un avión en condiciones favorables, podría viajar a favor del viento 20 km con el potencial de aniquilar a más de 100.000 personas e incapacitar a otros 250.000. Adicionalmente, los científicos militares estadounidenses verificaron los efectos del orden de magnitud de la diseminación de agentes BW contra poblaciones urbanas estimadas por estos estudios conduciendo investigaciones en el Campo de Pruebas de Dugway, Utah. Así, después de comparar el poder aniquilador de las MWD en una base de peso por peso, se encuentra que los agentes BW son inherentemente más letales que los agentes nerviosos CW, y que los sistemas de armas biológicas pueden proporcionar potencialmente una cobertura más amplia por libra de carga que las armas CW (“Cruise Missile Capabilities”, 2000).

Tabla 2

Agentes BW que se pueden convertir en armas

Enfermedad	Agente causante	Tiempo de incubación (Días)	Víctimas (porcentaje)
Ántrax	Bacillus anthracis	uno a cinco	80
Peste	Yersinia pestis	uno a cinco	90
Tularemia	Francisella tularensis	10 a 14	cinco a 20
Cólera	Vibrio cholerae	dos a cinco	25 a 50
Endefalitis equina venezolana	Virus Vee	dos a cinco	< uno
Fiebre Q	Coxiella burnetti	12 a 21	< uno
Botulismo	Toxina Clostridium botulinum	tres	30
Enterotoxemia del estafilococo	Enterotoxina del estafilococo	uno a seis	< uno
Toxicidad de órganos múltiples	Trichothecene mycotoxin	Depende de la dosis	

Fuente: The Biological and Chemical Warfare Threat (La Amenaza de Guerra Biológica y Química) (Washington, D.C.: Imprenta del Gobierno de EE.UU., 1999), 2.

Los costos estimados para un programa BW son mucho menores que los de programas comparables de armas nucleares y químicas: las estimaciones son de 2 a 10 mil millones de dólares para los programas nucleares, decenas de millones de dólares para un programa químico, y menos de 10 millones de dólares para un programa BW. Casi todos los materiales, la tecnología y los equipos requeridos para un programa modesto de agentes CW y BW son de uso dual, se pueden obtener comercialmente de una variedad de empresas legítimas y son ampliamente disponibles. Además, los conocimientos técnicos requeridos para iniciar y llevar a cabo un programa de producción de agente BW ofensivo son equivalentes a los de microbiólogos de nivel postgrado, existiendo muchos de estos profesionales cualificados en el mundo (Technical Aspects of Biological Defense, 1971).

El obstáculo técnico más importante a superar para obtener armas biológicas incluye la conversión de los agentes biológicos en armas. Los temas principales de la transformación en armas incluyen (1) la diseminación efectiva del agente BW para el máximo efecto (cobertura de área y mortalidad o incapacitación); (2) la conservación de

la viabilidad y virulencia del agente; y (3) la selección del sistema y las condiciones de transporte adecuada. Los agentes BW se deben diseminar como una nube aerosol para la contaminación máxima mediante la inhalación a través de los pulmones y para la máxima dispersión geográfica sobre la población objetivo. Obtener el tamaño correcto de partícula aerosol es sumamente importante. Carus, un experto reconocido mundialmente y prolífico escritor sobre temas de proliferación, observa el tamaño incorrecto de los agentes BW aerolizados pueden determinar total ineffectividad del ataque. Los tamaños ideales de partícula varían de una a cinco micras de diámetro. Un aerosol formado por partículas en este rango de tamaño es estable y puede ser transportado por el viento a través de grandes distancias sin pérdida significativa en forma de lluvia de partículas del agente BW. Asimismo, el rango de una a cinco micras es el tamaño ideal de partículas para retención en los pulmones—las partículas de menos de una micra se exhalan con facilidad, y las de más de cinco micras son filtradas por los conductos respiratorios superiores, y no pueden llegar al nivel inferior de los pulmones (Potencial Military Chemical/Biological Agents and Compounds, 1990).

Los agentes BW se pueden producir y convertir en aerosol en forma líquida o en polvo. La forma líquida se puede producir con más facilidad pero tiene una vida útil relativamente corta (la mayoría de agentes BW líquidos pueden almacenarse solamente de tres a seis meses en forma refrigerada) y puede ser difícil transformarla en aerosol. Los rociadores comerciales pueden modificarse para la diseminación de los agentes BW líquidos, aunque se encuentran problemas asociados con el atasco de las toberas del rociador y la destrucción del agente durante el proceso de rociado. Los problemas de la vida útil y las limitaciones del rociado pueden superarse produciendo agentes BW en forma seca mediante la liofilización (congelación rápida y deshidratación subsiguiente bajo alto vacío) y moliendo los tamaños de partícula apropiados hasta convertirlas en polvo. Las esporas de ántrax producidas de esta manera pueden almacenarse durante varios años. Sin embargo, la producción de agentes BW secos es sumamente peligrosa y requiere equipos más especializados y mayor capacidad técnica.

Sea que los agentes BW estén en forma líquida o en polvo, los individuos que tratan de transformarlas en armas deben superar las condiciones ambientales que eliminan o reducen la virulencia de los agentes. La tasa de decaimiento biológico depende de varios factores, incluyendo la radiación ultravioleta, la temperatura, la humedad y la contaminación del aire. Las condiciones atmosféricas óptimas para un ataque BW ocurrirían en una noche fría y clara con humedad relativa mayor de 70%. La capa de inversión (el manto estable de aire fresco encima de la tierra fresca) impediría la mezcla vertical de la nube aerosol, manteniendo así el agente BW cerca del suelo para inhalación. La transformación de los agentes BW en armas presenta muchos desafíos. No obstante, desde un punto de vista de proliferación, es importante tener en cuenta que hace más de 40 años el Cuerpo Químico del Ejército de los Estados Unidos superó estos desafíos y demostró y llevó a cabo con buen éxito pruebas de en grandes áreas con diseminación efectiva de agentes biológicos.

Debido a los bajos costos asociados con los programas de iniciación y conducción de programas de armas biológicas y la naturaleza del uso dual de la

investigación y el equipo BW, tal programa puede desarrollarse clandestinamente bajo la apariencia de una investigación legítima. Esta característica única de los programas de armas biológicas puede hacerlas particularmente atractivas a las naciones conflictivas. No hay señas inequívocas que distingan fácilmente entre un programa dedicado a la investigación biomédica legítima sobre enfermedades altamente contagiosas y uno que investigue y produzca agentes BW con propósitos militares. La ausencia de cláusulas de verificación en la Convención sobre Armas Biológicas y Tóxicas aumenta la dificultad de detectar y contrarrestar los programas BW clandestinos (Gripstad, B, 1986).

Desde la perspectiva de un agresor, otra ventaja de las armas biológicas sobre las químicas o nucleares es que, actualmente, no existen dispositivos de detección fiables para advertir con anticipación un ataque BW, aumentándose la probabilidad de causar grandes números de víctimas. Además, la combinación del comienzo retardado de los síntomas de un ataque BW y el hecho de que estos síntomas pueden ser fácilmente atribuidos en ocasiones a una epidemia natural de enfermedades, hacen que las armas biológicas ofrezcan al país que las emplee un camuflaje casi perfecto. Por lo tanto, un agresor puede usar armas biológicas como precursor de un ataque militar convencional para sembrar caos y debilitar las fuerzas de un enemigo convencionalmente superior con mínimo riesgo de represalia y condena por parte del país atacado y la comunidad internacional. Sería posible identificar un brote violento de ántrax, por ejemplo, como un ataque BW casi cierto ya que por naturaleza tales episodios ocurren raramente, sin embargo, el brote violento de una enfermedad común (viruela, gripe....) que se encuentra normalmente en una región determinada del mundo posiblemente sea vista inicialmente como un brote natural.

### **6.3.7. Conclusiones del uso de LACM con cargas BW**

Un LACM equipado con una carga de agente BW podría representar un sistema de armas políticamente atractivo, económico y militarmente útil. Políticamente, la mera amenaza del uso de un sistema con una carga de 120 kg de ántrax contra una ciudad importante, sería un elemento de disuasión importante, especialmente si está equipado con tecnologías difíciles de detectar y contramedidas sencillas de engaño, tales como cintas metálicas antirradar y señuelos, tendrían una alta probabilidad de penetrar las defensas aéreas y descargar su carga con precisión, causando así gran número de víctimas. Tales sistemas de armas son económicos, especialmente si se les compara con los misiles balísticos de alcance similar y los aviones de combate convencionales.

Con el surgimiento de las tecnologías de desarrollo comercialmente disponibles para navegación y guía de precisión; planeamiento sofisticado de misión; propulsión de poco peso y alta eficiencia; y penetración de las defensas aéreas, el desarrollo de los sistemas de misiles crucero con armas biológicas se encuentra ahora dentro del alcance de muchos países ("Irán y otros regímenes conflictivos desarrollan misiles crucero", 1999).

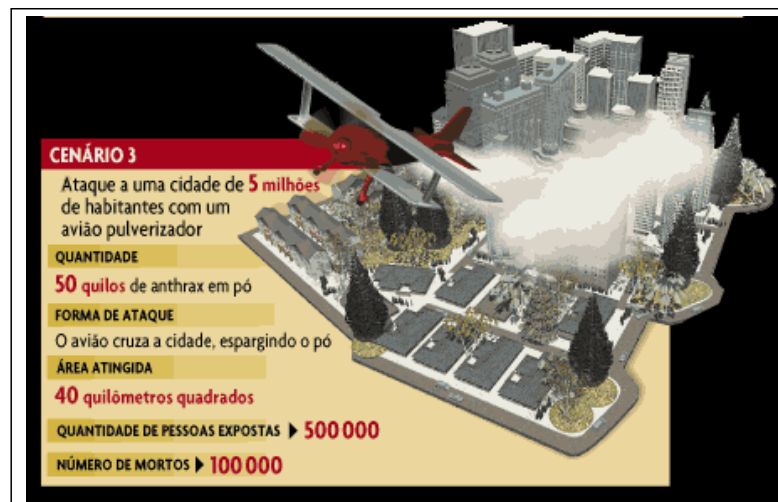
### 6.3.8. Efectos de las condiciones climáticas en el uso de armas biológicas (BW)

Las condiciones climáticas influyen de manera decisiva en la dispersión del agente biológico, viabilidad y virulencia. Las principales condiciones son las siguientes:

- Viento: La velocidad del viento, dirección y turbulencias influyen en la dispersión, en la caída y concentración del agente.
- Temperatura: Los agentes biológicos sobreviven más en temperaturas bajas. A altas temperaturas estos organismos mueren rápidamente.
- Luz del día o luminosidad: La mayoría de los agentes biológicos son sensibles a la energía lumínica, particularmente a la radiación ultra violeta. Cielos nublados o cubiertos, reducen el efecto de la luz solar y prolongan la supervivencia de agentes liberados a la luz del día, aunque prácticamente siempre el uso de armas biológicas está confinado a las horas de oscuridad.
- Humedad: Muchos agentes biológicos requieren relativamente alta humedad y mueren rápidamente en ambientes muy secos.
- Precipitaciones: Una lluvia intensa puede lavar y remover agentes biológicos, pero concentrarlos en piscinas o zonas de drenaje. La nieve abundante removerá la mayoría de los agentes dispersados en una nube.
- Estabilidad del aire: En condiciones inestables de tiempo, las corrientes de convección llevarán a los agentes en ascensión, quedando el agente a merced del viento y la radiación solar. En condiciones de estabilidad, los agentes permanecerán a nivel del suelo, permaneciendo densa su concentración como además la humedad será relativamente alta; estas condiciones favorecerán la supervivencia del agente. En condiciones neutras de tiempo asociadas a bajas temperaturas y altas presiones barométricas, es difícil anticipar la dirección del viento, lo que afectará la planificación del uso de estos agentes como arma de guerra.







*Tres escenarios de un ataque terrorista con Antrax.*

### **6.3.9. Las características de los Agentes Biológicos más utilizados**

Este tipo de elementos utilizados como agresivos de guerra o terroristas son muy dignos de considerarse en la actualidad habida cuenta su fácil producción y el significativo número de bajas físicas y psíquicas que pueden producir. Para acometer una defensa efectiva contra este tipo de agresivos, conviene recordar sus características potenciales que se resumirían en las siguientes:

- Existen una gran variedad de agentes biológicos patógenos únicos o combinados susceptibles de ser utilizados en estos propósitos, ataque a cualquier forma de vida humana, animal o vegetal.

- Por modificaciones antigénicas existe la posibilidad de ampliar la gamma de estos agentes, haciéndolos más específicos o resistentes a antibióticos y quimioterápicos.

- Los efectos deseados en su utilización pueden graduarse en función del agresivo elegido y su concentración, de manera que pueden obtenerse desde efectos incapacitantes hasta letales. De todas formas el estado del objetivo va a determinar en muchas ocasiones la magnitud de la incidencia del agresivo, por lo que su uso resulta en ocasiones poco previsible.

- El uso de este tipo de agresivos incluso en pequeñas cantidades puede desencadenar posteriormente por contagio epidemias difícilmente controlables sobre todo en estados de guerra, donde las condiciones higiénico-sanitarias son más precarias. Las infecciones pueden propagarse a través del agua, aire, alimentos, contacto directo y empleo de agentes vectores tales como artrópodos, etc.

- Si para conseguir una acción más efectiva del agresivo se utiliza una vía de acceso atípica en el organismo, por ejemplo para dificultar su identificación, se introducirá por desconocimiento del período de incubación y efectividad en ese caso una indefinición en los efectos que consiga.

- La actuación de estos agresivos es retardada, puesto que su efecto aparece cuando después de la entrada, su posterior multiplicación logra vencer la barrera de defensas del organismo, dando lugar en ese caso a la enfermedad. Este período es el denominado como de incubación y puede variar en función del agente y la persona desde algunas horas a meses.

- Las zonas que pueden cubrir este tipo de agresivos son muy grandes ya que una alta concentración de los mismos pueden contenerse en un pequeño artefacto que los liberará en forma de aerosoles en grandes extensiones, incluso miles de km<sup>2</sup>.

- A los agentes biológicos al ser microorganismos vivos, las condiciones de almacenamiento, transporte y diseminación (incluidas las ambientales) les afectan y en la mayoría de casos restándoles virulencia y efectividad. Una forma de preservar estos

agentes es manteniéndolos refrigerados hasta su uso.

Cuando los agentes biológicos se diseminan en forma de aerosoles que es la forma más eficaz, las condiciones ambientales les influyen de manera decisiva, sobre todo en lo que respecta a la exposición solar, humedad y viento.

Los rayos ultravioletas son mortíferos para los microorganismos de estos agentes, reduciendo su vida hasta la cuarta parte de lo normal, esta es la razón de por que se utilizan habitualmente en ataques nocturnos en los que su duración estimada es de un promedio de ocho horas frente a las dos diurnas.

- Las construcciones y vehículos no estancos, pueden ser afectados en su interior por la contaminación biológica arrastrada por el viento, a diferencia de otras armas convencionales, además en los recintos cerrados pueden alcanzarse concentraciones de contaminación superiores al ambiente exterior por su acopio o mayor persistencia, salvo que a la vez se produzcan depuraciones adecuadas o ventilaciones de ese ambiente interior.

- Dadas la forma de diseminación de estos agentes con munición de bajo poder explosivo u otros métodos que eliminan sistemas de ignición violenta, su utilización preserva de la destrucción al objetivo, aunque contamina los elementos que contiene en diferentes grados, por lo que se puede concluir que básicamente se dirigen contra los seres vivos incluidos las plantas.

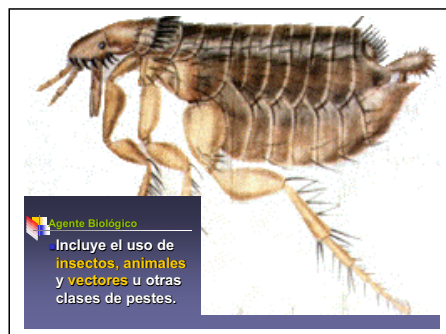
- Dados los medios de dispersión poco violentos así como la in apreciación por parte del organismo en los primeros estadios de su incorporación al mismo (sobre todo en forma de aerosol), estos agentes poseen una gran capacidad de sorpresa lo que los hace muy efectivos y desmoralizantes. Para su detección se necesitan personal y equipos especializados así como un período de tiempo importante, sobre todo cuando estos elementos se utilizan de forma enmascarada.

### **6.3.10. Entrada al organismo**

Un agente biológico puede entrar al organismo por cualquiera de las tres rutas habituales para la contaminación (o idealmente por todas ellas). Estas rutas son por ingestión, transcutánea o inhalación.

1. Ingestión: Esta puerta de entrada está confinada a los grupos de enfermedades relacionados con la comida y el agua de bebida, como la fiebre tifoidea. Estos agentes deben agregarse a las fuentes de alimento o de agua de bebida, pero pueden eliminarse, en la mayoría de los casos, al cocinar los alimentos, por cloración o al hervir el agua.

2. Transcutánea: Por la entrada al organismo a través de la piel por heridas o abrasiones. Fragmentos de armas antipersonales pueden utilizarse con este propósito, otra vía de este acceso es la producida por la picadura de insectos o mordedura de animales infectados que transmitan de esta forma la enfermedad.



3. Inhalación: Esta es lejos la ruta más peligrosa de contagio, y la mayoría de los agentes más letales es la que utilizan. La barrera pulmonar es fácilmente penetrada, alcanzando aún bajas dosis del agente un gran efecto. Estos ataques son generalmente mediante aerosoles, conocidos como la nube inicial. Una nube secundaria se forma cuando estos agentes se liberan desde la superficie donde reposaban.

Cuando los gérmenes se introducen en los organismos producen infecciones si son capaces de desarrollarse en su interior. Si el sistema receptor con sus defensas es capaz de "controlar" al germen, no se desarrollará la infección, por lo tanto la situación final dependerá de la virulencia y cantidad de los gérmenes, de la situación inmunológica del receptor y de la vía de acceso del germen al organismo.

Mientras se desarrolla el período de incubación de la infección, existe por lo general una sintomatología escasa, seguidamente se producen cuadros febriles diferenciados según el tipo de infección acompañados de malestar general, escalofríos, cansancio e inflamaciones orgánicas tales como hepatitis o bronquitis.

### 6.3.11. Tipos de agentes biológicos

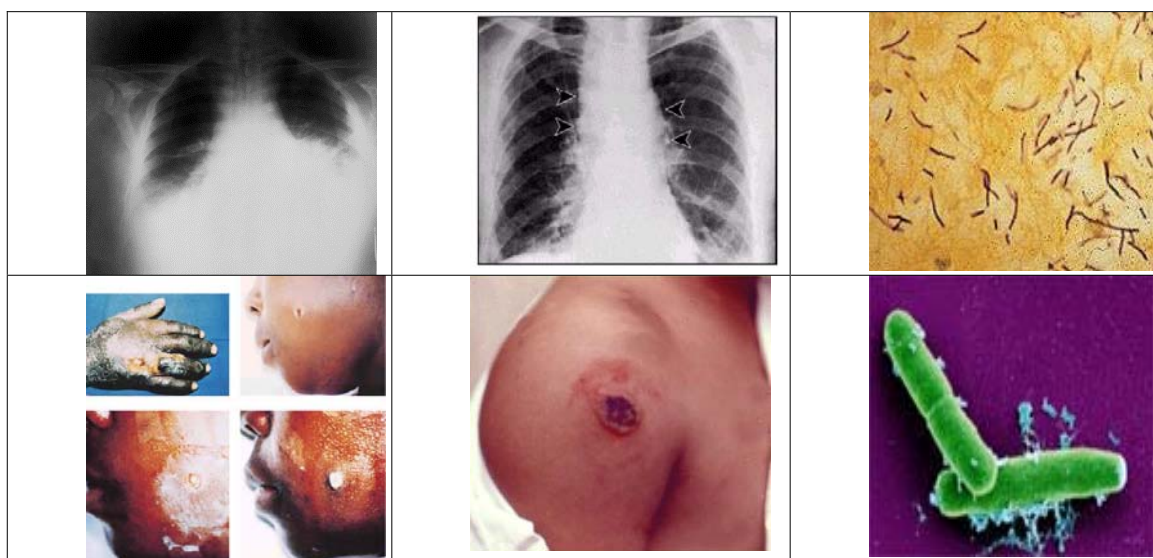
La producción de enfermedades puede deberse a las **bacterias**, tal y como es el caso del **Ántrax** (Carbunco), la Brucelosis, Peste Bubónica, Tularemia, Peste Pulmonar y el Tifus, o pueden producirse por **rickettsias** como es el caso del Tifus Exantemático, la Fiebre de las Montañas Rocosas, o la Fiebre Q, otros elementos de producción de enfermedades serían las producidas por **virus** como son la Fiebre Dengue, la Viruela, la Fiebre Amarilla, la RSSE. (Encefalitis Estival-Primaveral Rusa), la VEE. (Encefalitis Equina Venezolana), la Fiebre Chikungunya, la RVF. (Fiebre del Valle del Rift), y la Gripe. Los **hongos** también pueden utilizarse a estos fines, produciendo enfermedades como la denominada Coccidioidomycosis. Otros focos de enfermedades son los producidos por lo **Protozoos** que generarán el Paludismo (Malaria), las **Toxinas** que generarán el Botulismo y los **Agentes Antivegetales** que atacaran a los mismos y se suelen clasificar en Herbicidas, Defoliantes y Toxinas antivegetales de origen fúngico (lluvia amarilla). A continuación citaremos algunas de las características mas importantes de todos estos elementos y sus correspondientes efectos (NATO, 1996).

#### 6.3.11.1. Enfermedades producidas por Bacterias

##### 6.3.11.1.1.1. **Ántrax o Carbunco**

Es una enfermedad epizootica producida por una bacteria infecciosa adquirida por la ingesta del *Bacillus anthracis* o sus esporas por los animales herbívoros o sus pastos y se transmite por contacto con animales o productos contaminados como sus excrementos o por la inhalación de polvo contaminado. Las esporas pueden sobrevivir en el ambiente durante decenios. Según la ruta primaria de inoculación se puede clasificar en cutáneo, gastrointestinal o inhalado. El período de incubación de la enfermedad varía desde algunos días a una o dos semanas. La infección debuta con una infección necrotizante de la piel y el tejido subcutáneo compuesta por una agrupación de forúnculos habitualmente debidos al estafilococo aureus con múltiples zonas de drenajes. Cuando afecta al **cerebro (meninges)** se suele deber a inoculación del bacilo en heridas superficiales o en abrasiones de la piel, puede mostrarse de dos formas una lesión papular prurítica indolora en la que no ocurre necrosis por licuefacción (formación de pus) en el punto de inoculación, suelen aparecer lesiones satélites con crecimiento progresivo ulcerantes y que se cubren de costras que puede curar espontáneamente o avanzar hacia una situación sistémica que interesaría a las meninges.. Otra forma de discurrir es la generación de bullas en el punto de inoculación que se rompen formando una escara necrótica rodeada por un edema que se indura y suele asociarse a fiebres elevadas y toxemia grave. Cuando se ingiere y resulta contaminado el tracto gastrointestinal, la deposición de esporas en la submucosa provocan su germinación y proliferación de toxinas que provocaran edemas y obstrucciones, hemorragias y necrosis. Cuando se produce la **inhalación** de las esporas portadoras del **Ántrax** estas son transportadas por los neumocitos alveolares a los nódulos linfáticos regionales donde germinan, se multiplican y producen toxinas, provocando una mediastinitis edematosa hemorrágica, derrame pleural, disnea, cianosis, estridor y shock. La mortalidad sin tratamiento está alrededor del 20%, cifra que puede cuadruplicarse en

caso de que la vía de acceso sea la respiratoria. La forma **meníngea** es una forma rara altamente letal, se produce por la diseminación hemática del bacilo del Ántrax desde un foco primario y se manifiesta por la aparición de un líquido cefalorraquídeo hemorrágico acompañado de síntomas neurológicos. La forma del Ántrax denominada **renal** provoca una supuración parenquimatosa localizada y masiva consecutiva a metástasis bacterianas después de trombosis vasculares localizadas a infartos de riñón.



*Lesiones mediastínicas y pleurales de ántrax inhalado, bacilos del Ántrax, lesiones cutáneas y ulcerosas del Ántrax.*

#### 6.3.11.1.1.2. Brucellosis

Es una infección generalizada que afecta de manera especial al sistema retículoendotelial causada por un género de microorganismos gram negativos. La enfermedad aparece en animales domésticos, las personas pueden infectarse por vía cutánea, inhalación o ingestión de productos contaminados. El período de incubación es de una a cuatro semanas según el grado de la infección. Existe una gran diversidad de síntomas tales como escalofríos, fiebres variables, dolores de cabeza, astenia y anorexia, dolor articular y intensa sudoración. Puede producirse la curación espontánea incluso después de diferentes recaídas durante meses o por el contrario hacerse una enfermedad crónica invalidante por complicaciones hepáticas y óseas. La mortalidad puede estimarse en un 2%, siendo la edad un parámetro muy influyente.

#### **6.3.11.1.1.3. Peste Bubónica**

Es una infección bacteriana grave aguda o crónica, enzoótica o epizoótica producido por la *Yersinia pestis* de forma endémica y epidémica en todo el mundo. Los parásitos de los roedores (pulgas) son los encargados de su transmisión, también se produce transmisión hombre-hombre por inhalación de aerosoles de gotas portadoras del bacilo. Suele cursar con fiebres de inicio brusco, escalofríos, debilidad y cefaleas, seguidas de dolores, sensibilidad y linfadenopatías de los ganglios linfáticos regionales (inguinales, cervicales, femorales y axilares), acompañándose de hemorragias, coagulación intravascular diseminada, púrpura necrótica y gangrena simétrica extensa. La diseminación hematogena, puede establecer focos supurativos por todo el cuerpo. Las complicaciones pueden ser del tipo neumonías y septicemias. El tiempo de incubación es de dos a seis días, en los que además se pueden producir pérdidas de consciencia, delirium y estado comatoso. La mortalidad sin terapia se estima en un 20 al 25% de afectados.

#### **6.3.11.1.1.4. Peste Pulmonar**

Se presenta en forma de neumonía de rápida progresión y muy contagiosa, afectando de forma extensa a los pulmones y tos acompañada de esputos mucoides espumosos sanguinolentos y cargados de bacilos, las gotas de Pfeifer (gotas en suspensión aérea) son el vehículo de contagio, la incubación dura entre tres y cuatro días tras lo cual se genera un cuadro de congestión pulmonar que prácticamente da un 100% de mortalidad en casos no tratados.

#### **6.3.11.1.1.5. Tularemia**

Se desarrolla en mamíferos y aves salvajes, transmitiéndose posteriormente por la picadura de los ácaros, garrapatas y moscas. La infección humana puede sobrevenir por la mordedura o picadura del transmisor, consumo de alimentos o agua contaminada y/o inhalación de polvo contaminado (*Francisella tularensis*). Puede presentarse en diferentes formas la ulceroglandular en la que la lesión primaria afecta a la piel y provoca un aumento del tamaño de los ganglios linfáticos regionales, oculoglandular que provoca un conjuntivitis e inflamación de los ganglios preauriculares o neumónica en la que hay una infección pulmonar grave y posterior diseminación hemática. El período de incubación puede estar alrededor de uno a diez días. Cuando la vía de infección es la cutánea, se producen malestar, fiebre e inflamación de ganglios linfáticos, cuando la infección se produce por inhalación se suele producir una congestión pulmonar (50%) y cuando la infección esta generalizada en el torrente circulatorio, se producen necrosis orgánicas. La mortalidad sin terapia para el caso más dramático de la inhalación se puede situar alrededor del 40-60%.



*Afectación por Tularemia, acceso cutáneo del vector.*

### **6.3.11.1.2. Enfermedades producidas por Rickettsias**

#### **6.3.11.1.2.1.1. Tifus**

Enfermedad infecciosa transmitida por artrópodos y causada por especies Rickettsias, la infección generalmente sobreviene por ingestión o inhalación, durando el período de incubación entre una y dos semanas. La sintomatología que se produce es de malestar generalizado, dolores de cabeza, estados febriles progresivos que pueden llevar al delirio junto con la aparición de erupciones. La mortalidad sin tratamiento es de un 10 al 20 %, cifra que puede reducirse hasta un 1% si se administra un tratamiento a base de antibióticos. Del 3 al 5% de los dados de alta, sufriran durante bastante tiempo la incapacidad. en el caso del tifus epidémico causado por la Rickettsia prowazekii y transmitida entre seres humanos por el piojo *Pediculus humanus*, aparece al quinto día una erupción macular que se vuelve petequiral que se inicia en el dorso y se extiende a todo el cuerpo salvo a la cara, palma de las manos, y plantas de los pies, desapareciendo al evolucionar la fiebre.

#### **6.3.11.1.2.1.2. Tifus exantemático**

Transmitida por la picadura de garrapatas de la que existen diferentes variedades a las que se les asignan nombres según su procedencia geográfica. Se trata de un proceso largo en los seres humanos, cuyo período de incubación es de diez a catorce días que debuta repentinamente con escalofríos, dolores de cabeza, debilidad y estado febril hasta el final del proceso. En la primera semana aparecen las erupciones, agravándose los síntomas paulatinamente, haciéndose más críticos en la segunda o tercera semana. La rigidez y falta de reflejos se ve intercalada por accesos de delirium. La mortalidad de las personas no tratadas varía fuertemente con la edad, siendo del 3% para lactantes, el 30%



para individuos de entre 40 a 50 años y hasta el 50% para ancianos.

#### 6.3.11.1.2.1.3. Fiebre de las Montañas Rocosas

Producida por mordedura de garrapatas o animales como el gato o las ratas, por la transmisión del bacilo *Streptobacillus moniliformis* y en forma esporádicamente por *Spirillum minus*. El período de incubación dura entre tres y doce días. Los síntomas que aparecen de manera repentina son fuertes dolores de cabeza, escalofríos, dolores musculares y articulares y desfallecimiento. La sintomatología dura unas dos o tres semanas, a los cuarenta días aparece una erupción que progresivamente se extiende a todo el cuerpo. El fallecimiento suele ocurrir sobre la segunda semana por intoxicación sanguínea, shock, modificaciones en los vasos sanguíneos y fracaso renal. La mortalidad varía con la edad, siendo de un 40% para niños y el doble para adultos sin tratamiento, si este se establece el porcentaje puede disminuir hasta situarse entorno el 3% ó 7%



*Afectación cutánea producida por la "fiebre de las montañas Rocosas"*

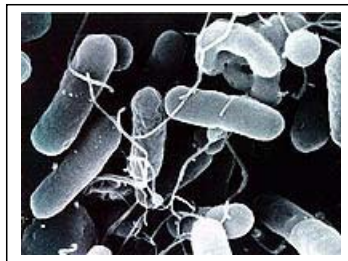
#### 6.3.11.1.2.1.4. Fiebre Q

La transmisión la pueden efectuar los animales domésticos o salvajes a través de sus parásitos como las garrapatas o por ácaros y moscas o también por la inhalación de polvo o consumo de alimentos contaminados (p.e. la leche y sus derivados). El período de incubación es de dieciocho a veintiún días, que se acorta a diez cuando la infección es generalizada. Los síntomas aparecen de súbito, escalofríos, fiebre, dolores de cabeza, anorexia, dolores musculares y pectorales, malestar general, en ocasiones rigidez cervical, desorientación y congestión pulmonar. no suelen producirse complicaciones, aunque el cansancio y pérdida de peso pueden prolongarse durante meses, así como para los mayores de cuarenta años los estados febriles. La mortalidad es inferior al 1%.

### 6.3.11.1.3. Enfermedades producidas por Virus

#### 6.3.11.1.3.1.1. Fiebre Dengue

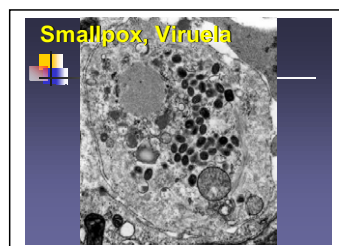
El transmisor el mosquito denominado como "Aedes", Después del período de incubación (5-7 días), la enfermedad se presenta bruscamente debutando con fiebre, dolores de cabeza, dorsales, musculares y articulares, en la fase aguda el afectado queda completamente incapacitado. En ocasiones suelen sobrevenir fuertes hemorragias, dando en este caso índices de mortalidad del 5%.



*Imágenes microscópicas de virus*

#### 6.3.11.1.3.1.2. Viruela

El acceso a los organismos se realiza a través de las vías respiratoria y cutánea. El período de incubación es de nueve a doce días. Los síntomas son fiebre, malestar, dolores de cabeza, dorsal y ventral, aparecen además erupciones en mucosas y piel. Las manchas comienzan por lo general en la cara y se van transformando desde granos, ampollas hasta pústulas que después de secarse dejan cicatrices. Las mucosas producen secreciones muy contaminadas (esputos, mucosidades, etc.). La mayor parte de los casos mortales se dan en la fase de las pústulas, siendo la mortalidad de la población no vacunada de un 30% y de la vacunada inferior al 1%.



*Imagen microscópica de la enfermedad de la viruela*

#### 6.3.11.1.3.1.3. Fiebre Amarilla

Los monos son la fuente natural de la enfermedad y se transmite por la picadura del mosquito. El período de incubación es de tres a seis días. Los síntomas que aparecen violentamente son la ictericia, fiebre, el dolor de cabeza y dorsal, la extenuación las náuseas y vómitos que pueden llegar a ser sanguinolentos. En la población no vacunada puede alcanzarse una mortalidad del 30 al 40%.

#### 6.3.11.1.3.1.4. Encefalitis Estival-Primaveral Rusa (RSSE)

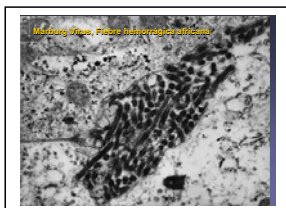
Los roedores, erizos y pájaros son la fuente natural de la enfermedad. La enfermedad se transmite por las garrapatas o consumo de leche. El período de incubación es de una a dos semanas. En el estadio inicial la enfermedad cursa de forma leve con dolores de cabeza, sofoco y malestar general, seguidamente aparecen fuertes dolores de cabeza, fiebre, náuseas y vómitos, en el caso más grave además aparece la rigidez cervical, insomnio, delirium, estado comatoso, espasmos y parálisis total o parcial tras lo cual y en una semana sobreviene la muerte. El índice de mortalidad puede llegar a un 5%.

#### 6.3.11.1.3.1.5. Fiebre Chikungunya

La fuente natural de la enfermedad son los primates y se transmite en la picadura del mosquito. El período de incubación dura alrededor de tres a doce días. Los síntomas que aparecen de manera repentina son fuertes dolores en los miembros y columna vertebral, el paciente se curva y permanece inmóvil con fiebre alta que cede a los seis días que vuelve a subir después de un intervalo de tiempo junto con la aparición de una erupción con escozor de tronco y miembros, esta fase dura una semana. Durante cuatro meses pueden aparecer dolores articulares que pueden ser hasta paralizantes.

#### 6.3.11.1.3.1.6. Fiebre del Valle del Rift (RVF)

Puede transmitirse al ser humano por los roedores mediante contacto directo o por inhalación de polvo contaminado. El período de incubación dura entre cuatro y seis días. La enfermedad aparece de manera repentina como fiebre, malestar, náuseas, vómitos, fuertes dolores de cabeza y musculares. Tras dos o tres días con fiebre siguen un día o dos sin ella y después otros tres de fiebre. La convalecencia no tendrá especiales dificultades aunque puede sentirse malestar y debilidad. Esta enfermedad ataca también al ganado vacuno y caprino, produciendo abortos y muerte de las crías.



*Virus de la fiebre hemorrágica*

#### **6.3.11.1.3.1.7. Gripe**

Existen diversas clases de gripes y pueden generarse otras mediante combinaciones. Los síntomas son la fiebre, malestar, fatigas, dolores muculo-articulares y de cabeza, desfallecimiento. La mortalidad se presenta en casos extremos en individuos con complicaciones cardio-respiratorias.

#### **6.3.11.1.4. Enfermedades producidas por Hongos**

##### **6.3.11.1.4.1.1. Coccidioidomycosis**

Se produce generalmente por inhalación de polvo contaminado, tras la incubación que dura entre diez y veinte días, la enfermedad cursa de manera similar a la gripe además de dolores pectorales y tos. En un 20% de casos pueden aparecer hinchazón dolorosa de piernas y afecciones pulmonares. La mortalidad de personas no vacunadas puede alcanzar la cifra del 50%.

#### **6.3.11.1.5. Enfermedades producidas por Protozoos**

##### **6.3.11.1.5.1.1. Malaria (Paludismo)**

La enfermedad viene producida por protozoos parásitos de los glóbulos rojos que se producen por vía sexual en el tubo digestivo del mosquito y por vía asexual en la sangre humana. La picadura del mosquito es la transmisora de la enfermedad. Existen tres tipos de este tipo de fiebre, la denominada como "cuartana", con acceso cada cuatro días, la "terciana benigna" y la "terciana maligna" con acceso febril cada tres días. Para todos los casos la fiebre cursa con escalofríos y posterior elevación además de dolor de cabeza, aceleramiento del pulso y respiración, después de media hora la sintomatología varía con estado de sofoco, sequedad de piel, enrojecimiento de conjuntivas e inquietud. La temperatura sube a valores muy altos y después de unas cuatro horas baja rápidamente acompañándose de copiosas sudoraciones. Se producen Esplenomegalias y Hepatomegalias por invasión de los parásitos. La Malaria se puede producir en zonas que por sus elevadas temperaturas medias (25-30°) e insalubridad (aguas estancadas) facilite la proliferación de los mosquitos, cuestión esta que difícilmente se producirá en zonas frías.

#### **6.3.11.1.6. Enfermedades producidas por Toxinas**

##### **6.3.11.1.6.1.1. Botulismo**

El "clostridium botulinum", que es una toxina de un germen anaerobio, es el encargado de producir la enfermedad por su rápida proliferación en medios ricos en sustancias nutritivas como son los alimentos. en ausencia de oxígeno, por lo que se suele producir en alimentos en conservas. La toxina botulínica (exotoxina) es uno de los venenos microbianos más potentes que se conocen. El período de incubación es de uno o

dos días después de la ingestión del alimento en mal estado, apareciendo náuseas, vómitos, diarreas y dolores abdominales los cuales son síntomas típicos de intoxicaciones alimentarias. Se suelen producir parálisis de los músculos motores oculares con resultado de estrabismo. dada la afinidad de estas toxinas por las células nerviosas, pueden producirse parálisis faciales y de la lengua, entre otras. Por parada cardio-respiratoria al tercer día puede sobrevenir la muerte. La toxina del botulismo se descompone en el aire a las doce horas y a las veinticuatro este está limpio de las mismas. La mortalidad puede estar alrededor del 60 al 70%.

#### **6.3.11.1.7. Agentes Antivegetales**

El uso de este tipo de agentes está destinado a la destrucción de cosechas, o cambiar la forma o color para señalar objetivos o eliminar camuflajes. Estos agentes suelen clasificarse en "Herbicidas", "Defoliantes" y "Toxinas antivegetales de origen fúngico". Entre el orden Oomicetales existen especies que originan plagas muy devastadoras tales como la "Phitofora Infestans", agente etiológico del mildiu de la patata, la "Plasmopara viticola" originada por el mildiu de la vid y otros potentes agresivos de cultivos fundamentales. La subclase de los Ascomicetos, las especies de los géneros de la Podospora, Uncinola, Filactinea, Limacina y Alteraria son capaces de producir devastadoras plagas de árboles frutales.

#### **6.3.12. Métodos de diseminación de los agentes biológicos**

Se persigue el que los agentes biológicos puedan penetrar de forma viva o virulenta en el organismo humano, para ello se pueden utilizar cualquiera de las vías ordinarias de acceso al mismo, tales como la inhalación, la transcutánea o la digestiva. La eficacia del método de dispersión deberá de garantizar sus objetivos, esta eficacia se vera fundamentalmente influenciada por las condiciones ambientales del medio en el que se liberan y particulares de agente y su forma.

Las formas más usuales de diseminación son la utilización de aerosoles portadores de microorganismos patógenos, la utilización de agentes vectores y los sabotajes directos en instalaciones.

##### **6.3.12.1.1. Diseminación en forma de aerosoles**

El agente forma parte del aire y viaja en suspensión bajo la forma de gotas sólidas o líquidas que contendrán a los organismos vivos. esta es la forma más eficaz de penetrar en el organismo por vía respiratoria y en ocasiones transcutánea, produciendo en el primer caso una gran virulencia en breve espacio de tiempo, afectando además a grandes superficies (p.e. 200 kg de determinado material diseminado en forma de aerosol pueden llegar a contaminar una superficie entre 5000 y 20000 Km<sup>2</sup>).

Los agentes diseminados en forma de aerosoles no se pueden detectar por lo sentidos y puede penetrar dentro de estructuras cerradas que no posean cierres estancos o filtros adecuados.. La entrada por caminos no habituales en el organismo, producirán

infecciones atípicas que dificultaran su detección y en algún caso aumentarán su mortalidad, sobre todo si se produce una emisión combinada de agentes, este retraso en su detección retardará el establecimiento de medidas terapéuticas y de esta forma aumentará la eficacia del ataque. La forma de aerosol tiene además las "ventajas" añadidas de aumentar la probabilidad de contacto humano con el agente por vías primordiales como las respiratorias y otras accesibles como las transcutáneas.

Para que la dispersión en forma de aerosol alcance sus objetivos, los microorganismos tienen que llegar vivos al interior del individuo y además poseer un tamaño que les permita introducirse en los alvéolos pulmonares, donde con mayor probabilidad producirán infecciones. Las partículas de diámetro inferior a 1 micrón son expelidas del interior de los pulmones en la espiración y las superiores a 5 micrones son retenidas básicamente en las barreras compuestas por los compartimentos nasales y cilios de la tráquea y bronquios, así pues el tamaño de las partículas adecuado estará comprendido entre estas dos medidas.

Los sistemas para la formación de aerosoles son:

Explosión de pequeñas bombas de paredes delgadas de plástico o metal, alrededor de una carga explosiva se encuentra distribuido el agente, que una vez explotado el artefacto se convierte en aerosol. Debido al impacto explosivo y al calor morirán una parte de los microorganismos, pero en general debido a la sencillez, fiabilidad y bajo costo es un elemento muy considerado.

Generadores, que son un dispositivo compuesto de un depósito de gas a presión y otro de agente, de manera que la apertura combinada de diferentes orificios producirá los aerosoles deseados. Pueden utilizarse desde el aire o desde el suelo en la propia zona a contaminar. La ausencia de explosiones, los hace silenciosos y poco destructivos para sus propios microorganismos, si bien resultan mecánicamente más complejos y costosos que los anteriores.

Pulverizadores, son depósitos generalmente aerotransportados por aeronaves o misiles que contienen gran cantidad de agentes y pueden afectar a zonas muy extensas. El sistema mecánico, salvo sus proporciones, son similares al caso anterior.

#### **6.3.12.1.2. Factores de los que depende la estabilidad del agente diseminado como aerosol**

La velocidad de deposición de las partículas depende de su tamaño y de las condiciones cinemáticas del aire entre otras, así pues para partículas de entre 1 y 5 micrones en ausencia de viento esta velocidad resulta prácticamente despreciable (unos 12 cms/hora) máxime si se considera la resuspensión debida a las corrientes de convección.

Adherencia e impacto, cuando la nube de agente se propaga, al chocar con los objetos se produce una doble situación, la contaminación de ellos, situación esta que por la baja concentración y la "mortalidad de los propios microorganismos" es poco

significativa y la autodestrucción del agente por la mortalidad de los microorganismos provocada en el impacto mecánico del choque.

La radiación ultravioleta solar o artificial es capaz de matar a los microorganismos, razón por la cual junto con la "sorpresa" hace que la diseminación se realice preferentemente de manera nocturna.

Dentro de los factores meteorológicos por su repercusión citaremos los siguientes (Cole, LA, 1988):

La dirección, intensidad y variabilidad del viento, así como la orografía del terreno y su composición superficial, determinarán la extensión y zonas contaminadas, cuando el agente se deteriora con rapidez, se busca la dispersión del mismo bajo velocidades del viento grandes. Por contra estas velocidades grandes también producen un efecto degradante sobre el agente agresivo y hace que la concentración del mismo disminuirá por lo que sus efectos adversos serán menores y la efectividad de los sistemas de protección personal mayores.

La humedad relativa ambiente elevada favorece el uso de agentes en forma de aerosoles, situándose el valor ideal en alrededor del 85%, estas elevadas humedades originan molestias en el personal sometido a los sistemas de protección personal y puede favorecer el mal uso de los mismos y por lo tanto la mayor contaminación de ellos.

La temperatura cuando es muy elevada ( $>75^{\circ}$ ) tiene un efecto letal sobre los microorganismos, pero a su vez producen efectos de "stress" sobre el personal protegido que conllevará al resultado expuesto en el párrafo anterior así como a una transpiración y respiración abundante que de forma neta puede aumentar la contaminación del personal sometido a estas condiciones extremas, que si bien son infrecuentes en espacios abiertos, dentro de habitáculos o vehículos pueden alcanzarse con cierta probabilidad. Las bajas temperaturas ( $<0^{\circ}$ ), conservan a los agentes agresivos, aumentando su actuación en el tiempo si bien en general aminorarán la virulencia del mismo, efecto que además se suma a que el personal sometido a esas condiciones ambientales estará haciendo uso de abundante vestuario sobre la mayoría de su cuerpo y una ralentización de parámetros biológicos por lo que se producirá un cierto cúmulo de efectos de protección inconsciente.

Cuando la estabilidad atmosférica es del tipo inversión o neutralidad se producen el efecto de mantener la nube contaminante del aerosol a baja cota, facilitando pues la contaminación del personal, cosa que no ocurre en situación de inestabilidad, ya que se producen corrientes ascendentes que dispersarán y diluirán a los agentes agresivos. En cualquier caso hay que considerar las condiciones locales de determinadas zonas donde por sus especiales características orográficas o constructivas, pueden hacer variar las condiciones generales atmosféricas en esa microzona y por lo tanto potenciar o minorar los efectos esperados.

La deposición húmeda, en cualquiera de sus facetas (lluvia, nieve, etc.), se puede decir que arrastra a los elementos contaminadores suspendidos en el aire hacia el suelo donde dependiendo de la naturaleza de este puede ser absorbidos y neutralizados, minorando sus efectos nocivos sobre el personal expuesto, En ocasiones, por las nivelaciones o contenciones del suelo pueden producirse lugares de acúmulo de contaminantes, por lo que habrá que tener un especial cuidado con este tema. La contaminación depuesta por esta circunstancia, excepcionalmente puede llegar a afectar de manera significativa en el tiempo a cursos de agua, vegetales, etc., por lo que habrá que vigilar el uso de estos productos cuando procedan de zonas con probabilidad de contaminación y en cualquier caso dar unas normas para su adecuada utilización.

Las características del terreno intervienen de manera decisiva en el comportamiento de la contaminación, no solo en lo que respecta a la orografía del mismo, si no que además en su composición y vegetación, cuando esta es densa p.e., puede retrasar la dispersión del contaminante, favorecer su duración por la protección ultravioleta que le brinda, fijar su localización al lugar y producir una resuspensión local tardía por agitación cuando se remueva la misma. Por lo tanto conviene acotar y limitar los accesos a zonas contaminadas con vegetación y si es necesaria su limpieza y no pudiera demorarse esta, proceder a la descontaminación masiva por métodos como la calcinación extremando las medidas de seguridad contra la contaminación del personal y objetos que intervienen en la operación.

#### **6.3.12.1.3. Diseminación de agresivos biológicos por agentes vectores**

Cuando el camino elegido para la contaminación es la trasgresión de la barrera cutánea, se pueden utilizar la diseminación de agentes biológicos que por picadura del vector (portador) que suelen ser artrópodos.. Los vectores se clasifican en vectores biológicos o activos y vectores mecánicos o pasivos. Los vectores biológicos son artrópodos en los que los organismos patógenos se desarrollan y multiplican antes de su inoculación, por el contrario los vectores mecánicos son también artrópodos que transmiten los microorganismos de un blanco a otro pero no son esenciales para la vida del agente (Centres for Disease Control and Prevention, 1993).

Por ejemplo los mosquitos transmiten enfermedades como la malaria actuando como vectores biológicos sin embargo el moscardón que transmite el carbunco y otros insectos que transmiten enfermedades vegetales son vectores mecánicos. Existe una gran cantidad de enfermedades provocadas en el hombre por virus procedentes de artrópodos tales como:

Mosquitos que a través de su picadura inoculan virus causantes de la fiebre amarilla, fiebre dengue, encefalitis, etc.

Moscas, una vez seleccionada de manera adecuada la especie de esta, se puede convertir a la misma en un vector activo que por picadura inocular al germen patógeno o bien como vector mecánico que en su cuerpo transporta los microorganismos y deposita por contacto en piel, aguas, alimentos etc. Las fiebres tifoideas, ciertas disenterías



(amebiana y bacilar) y el cólera asiático son transmitidos por moscas que no pican, las que si lo hacen como la mosca tsé-tsé transmite la enfermedad del sueño y otras la tularemia, etc.

Pulgas son insectos de pequeño tamaño que se mueven por saltos y parasitan a los mamíferos y aves. Están provistos de una trompa que les permite perforar la piel y succionar la sangre, operación durante la cual transmiten los gérmenes al receptor. Entre estos insectos se encuentran la *Xenopsilla Cheopis* que actúa como vector de la peste bubónica o vacilo de la peste (*Pasteurella Pestis*) que se desarrolla en el esófago de la propia pulga.

Los piojos son insectos chupadores sin alas al igual que las pulgas y parasitan la piel de mamíferos y aves. Para el ser humano existe un piojo específico (*pediculis humanus*) que transmiten las rickettsias causantes del tifus epidémico y la fiebre de las trincheras.

Los Ácaros son parásitos de animales vertebrados que se sitúan en su piel transmitiendo enfermedades como la tularemia y la fiebre de las Montañas Rocosas.

#### **6.3.12.1.4. Características generales de los agentes vectores**

Las protecciones personales del personal (vestimenta y equipos de respiración) extendidas a la totalidad de la superficie corporal, es una forma adecuada de prevención frente al ataque de vectores activos y mecánicos. La persistencia del agresivo en este caso viene dada fundamentalmente por la vida del vector y esta varía ampliamente desde 1 ó 2 meses para los mosquitos hasta 6 ó 7 para las pulgas, considerando además que algunos vectores pueden transmitir el agente patógeno a varias generaciones de su descendencia. El agente situado en el interior del vector estará protegido del medio externo mientras este viva. Las condiciones ambientales que incluyen la climatología ambiente, el tipo de terreno, etc., influirán de manera decisiva en la vida y la actividad de los vectores, siendo por ello imprescindible estudiar este para un determinado ataque si se quiere "optimizar" el resultado.

En cualquier caso hay que tomar muy en consideración que el control posterior a la diseminación del vector es muy difícil por lo que puede incluso tornarse hostil contra el que lo ha utilizado, por lo que este deberá de contemplar las medidas de autoprotección propias, tanto si ha de penetrar en la zona atacada como para prevenir posibles reorientaciones del viento en contra de sus bases.

#### **6.3.13. EL agroterrorismo, una nueva forma del uso de las armas biológicas**

La guerra biológica y química no son fenómenos novedosos, lo nuevo son las posibilidades que abrió la ingeniería genética de convertir en armas letales agentes biológicos que antes no eran patógenos ni mortales. Es conocido que entre las empresas que desarrollaron el agente naranja (defoliante) y el napalm (gelificador abrasivo), que

Estados Unidos usó ampliamente en Vietnam se encuentren Monsanto y Dow Chemical, dos de los cinco mayores multinacionales de la agrobiotecnología y que tienen posibilidades reales de modificar bacterias, virus, hongos u otros organismos para convertirlos en armas biológicas.

Existen gobiernos que entre sus políticas de defensa, se encuentran la de crear amenazas exteriores mas o menos fundadas para justificar sus programas de investigación en armamento y otras políticas agresivas para su defensa. En este sentido, con la justificación de un posible ataque foráneo con armas biológicas, se justifica el desarrollo de sus programas de investigación militar o civiles en materia biológica para aumentar su capacidad "defensiva" ante este tipo de amenazas.

Las armas biológicas defensivas serían la fabricación de vacunas-antídotos que protegieran a la población de este tipo de agresivos, lo que ocurre es que esta tarea aparentemente lícita, propicia en paralelo los programas de investigación de doble uso (civil-militar) para crear lo que realmente se persigue que es la fabricación de armamento biológico.

Estados Unidos en julio del 2001, rehusó colaborar para que se estableciera un protocolo internacional de Verificación del Convenio de Armas Biológicas y Tóxicas (CABT). como el que posteriormente se establecería en el de Armas Químicas. Este convenio de Naciones Unidas, establecido en 1972, compromete a sus signatarios a prevenir y descartar el uso de armas biológicas y tóxicas. Actualmente está en proceso de estudio y adaptación para incluir los avances tecnológicos de última generación no previstos en su creación y para intentar dotarlo de un instrumento de verificación de su cumplimiento. El artículo primero del CABT dice: "Cada Estado parte del convenio se compromete a que, bajo ninguna circunstancia, desarrollará, producirá, guardará en depósito o por cualquier otro medio adquirirá u obtendrá: agentes microbianos u otros agentes biológicos, o toxinas cualquiera sea su origen o método de producción, en tipos y cantidades que no tengan justificación para propósitos, profilácticos, de protección o pacíficos".

Según manifestó Estados Unidos en las negociaciones de este convenio, permitir esta verificación internacional en su territorio contravendría los intereses comerciales de sus empresas biotecnológicas.

Como decíamos al comienzo, unas pocas empresas multinacionales dominan la biotecnología agrícola, en el que la tecnología Terminator (modifica genéticamente las plantas para que produzcan semillas estériles) es la plataforma sobre la cual se emprenden muchos de los nuevos experimentos de mejoramiento biotecnológico, entraría dentro de las hipótesis realistas de guerra biológica, el que las empresas o los gobiernos usaran esta tecnología para imponer su hegemonía. Una disputa sobre el comercio de textiles con el sur de Asia, por ejemplo, podría conducir a que Estados Unidos negara el permiso de exportación de un herbicida modificado, necesario para asegurar el rejuvenecimiento de las semillas de algodón portadoras de la secuencia Terminator. El agroterrorismo podría resultar mucho más barato y rápido como medio

para resolver disputas comerciales que los procesos de arbitraje de la Organización Mundial para el Comercio... y para someter a otros países dependientes. Otra biotécnica con posible doble uso sería la denominada como "La Traidora", esta técnica se basa en que el carácter suicida podría ser suprimido por varias generaciones antes de ser activado por un inductor químico remoto, en este caso la secuencia suicida permanecería inactiva mientras se rociara sobre el cultivo un determinado elemento químico (por ejemplo, un herbicida), quizás incluso varias veces durante la época de crecimiento. Si ese elemento químico no se aplica o se niega su provisión intencionadamente, el cultivo produciría semillas estériles. De hecho, el carácter activado o desactivado por el inductor químico externo podría estar codificado para atacar de inmediato el cultivo presente: reducir el contenido proteínico del arroz, elevar el nivel de cianuro en la yuca o mandioca, o hacer que el trigo germine prematuramente, por ejemplo. Eso es la Tecnología Traitor (traidora). También se trata de una investigación en guerra biológica ofensiva, en contradicción con el Tratado sobre Guerra Biológica de 1972.

En realidad, el agroterrorismo como táctica de guerra ya ha sido utilizado entre las grandes potencias. En la Primera Guerra Mundial los franceses desarrollaron patógenos para aniquilar los animales de la caballería alemana y los alemanes lanzaron una elaborada estrategia que arrasó el ganado de Rumania y el ganado y el trigo almacenado (para ser exportado a los aliados en Europa) en Argentina y posiblemente en otros países de Sudamérica. La campaña alemana también se dirigió contra embarques de caballos de guerra y de tiro en el este de Estados Unidos y a lo largo de todo el frente occidental.

Es ampliamente reconocido que Estados Unidos trató de destruir la cosecha de trigo de Vietnam del Norte en los sesenta e intentó diseminar enfermedades entre los cultivos de exportación de Nicaragua a fines de los setenta. También existen informaciones bastante contrastadas de que Estados Unidos –o disidentes apoyados por él- han atacado cultivos y animales en Cuba.

#### *Los hongos-bomba*

En un estudio de la campaña de Estados Unidos para eliminar los cultivos de narcóticos en los Andes, Edward Hammond director del Proyecto Sunshine, descubrió que tanto Estados Unidos como Gran Bretaña han canalizado fondos a través del programa antidrogas de la ONU para obtener acceso a hongos microscópicos manipulados para convertirlos en armas en Uzbekistán (cuando esa república todavía formaba parte de la URSS), Hammond señala que el plan estadounidense de rociar desde aviones hongos genéticamente modificados aún no ha sido aprobado por el gobierno colombiano.

Gracias a la genómica y las biotecnologías modernas, entre otras, las posibilidades actuales de la guerra biológica incluyen, por ejemplo, el diseño de "bombas étnicas", es decir, de diseñar patógenos que afecten a grupos étnicos con presencia de determinados genes. Sin embargo, este escenario, aunque posible, no es

fácil de conseguir todavía.

Como resumen y a la vista de lo expuesto, actualmente es mucho más fácil de construir, difícil de detectar y hasta comercializable el "agroterrorismo", es decir, patógenos o agentes que comprometan la continuidad de los cultivos que alimentan a la población. Esta es la función de la tecnología Terminator, para hacer semillas "suicidas", que desarrolló el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y se autorizó para la multinacional de semillas Delta & Pine Land, abriéndole la puerta a su venta comercial, pese a que, según los expertos esta tecnología viola las disposiciones del CABT y debería ser prohibida.

Otras de las razones poderosas para oponerse por parte de EE.UU. a la verificación del convenio, se develaron el 4 de setiembre del 2001, en un artículo de W. Broad y J. Miller, publicado en el New York Times, el cual informaba de que la CIA estaba realizando un proyecto secreto de investigación de defensa biológica que, según muchos expertos, violaba principios del CABT. Según el New York Times, la CIA había hecho simulacros con bombas biológicas propias y de la ex URSS y construido instalaciones para la producción de armas biológicas en Nevada. La organización estadounidense The Sunshine Project informaba de que esto nunca se incluyó en los informes anuales obligatorios al convenio. Si esto se hubiera comprobado en cualquier hubiera sido motivo de sanciones e intervenciones más enérgicas.

A título de ejemplo en la tabla siguiente, se exponen algunos blancos probables considerados por el Agroterrorismo:

cultivo	región	Patógeno	comentario
Frijoles, soya, cacahuete, girasol, verduras	Mundo	Sclerotinia sclerotiorum	Alto potencial militar. Este hongo causa podredumbre o moho en muchas especies con excepción de cereales y plantas leñosas. Es sumamente destructivo por transmitirse por el aire y alojarse en la semilla.
Patata, tomate y plátano	Mundo excepto en Sudamérica	Pseudomonas solanacearum	Alto potencial militar, materia pegajosa bacteriana que se transmite por material infectado, no hay defensa efectiva.

#### **6.3.14. Defensa biológica, predicción, detección, identificación, sistemas de protección, descontaminación**

##### **6.3.14.1.1. Defensa contra agentes biológicos**

1. La piel y las membranas mucosas: La piel intacta y las membranas actúan

como barrera mecánica, además de una discreta acción antibacteriana y eliminadora de gérmenes. Las secreciones en el sistema respiratorio atrapan micro-organismos, los cuales son expulsados por el mecanismo de la tos, o destruidos por las secreciones gástricas.

2. Defensas celulares: Los micro-organismos que logran penetrar más profundamente los tejidos son atacados por células conocidas como fagocitos. Estas aparecen en el sitio de infección y tiene la capacidad de destruir cuerpos extraños. Los fagocitos también existen en los ganglios linfáticos, donde son llevados los micro-organismos por medio de los canales linfáticos, provocando inflamación de los ganglios linfáticos de la zona afectada.

3. Defensas hemáticas: Fuera de la acción de los Leucocitos macrófagos, la sangre cuenta con anticuerpos que se forman por la estimulación de micro-organismo o toxinas como forma de reacción o defensa específicas contra ese estímulo. Los micro-organismos invasores son también atrapados en el Bazo, Hígado, o médula, por los leucocitos macrófagos. La inmunidad es la capacidad de un individuo de defenderse contra un agente patógeno. La inmunidad natural varía en cada individuo y se puede recuperar luego del ataque de una enfermedad infecciosa. Artificialmente la inmunidad puede adquirirse exponiendo al individuo a formas no patógenas o atenuadas de enfermedades específicas, mediante vacunas, generando anticuerpos contra esa enfermedad para el futuro o transmitiendo temporalmente inmunidad mediante anticuerpos.

#### **6.3.14.1.2. Contramedidas contra ataques de Agentes Biológicos (Tomich, N, 1991):**

Las defensas contra los ataques de agentes biológicos pueden resumirse en profilaxis, protección física y descontaminación y se definen como procedimientos para impedir, reducir, remover o eliminar, temporal o definitivamente la contaminación NBQ (nuclear, biológica y química), con el propósito de mantener o mejorar la eficiente conducción de las operaciones militares.

##### **6.3.14.1.2.1.1. Profilaxis**

Es evitar la contaminación. El mantenimiento de las mejores condiciones posibles de higiene personal y colectiva son esenciales. La inmunización mediante vacunas (efecto prolongado) o antiseros, antitoxinas (efecto transitorio) contra todos los posibles agentes biológicos es impracticable y en muchos casos no existen disponibles vacunas contra algunas enfermedades. De todas formas la aplicación selectiva de vacunas a personal en mayor riesgo puede ser una posibilidad. Hay que recordar que luego de la inmunización mediante vacunas es necesario esperar un período de tiempo variable para que se desarrolle una inmunidad adecuada contra ese agente específico, y en ocasiones este solo acto puede producir desagradables y en ocasiones mortales reacciones que deben evaluarse al analizar su conveniencia o costo beneficio. Es muy deseable entonces, que informes de inteligencia puedan estar disponibles para alertar a tiempo de un ataque inminente y precisar él o los posibles agentes biológicos a utilizar. Otras medidas son el limitar el número de personal y

material expuesto al ataque con estos agentes, como por ejemplo: no cubrir cubierta de vuelo si no se está operando o mantener armas antisubmarinas en cubierta si no hay amenaza submarina, limitar las salidas al exterior en las horas sin sol, donde están más expuestos al ataque con armas biológicas, asumir condición bajo cierre durante la noche, etc., y limitar al máximo las áreas expuestas al ataque.

#### **6.3.14.1.2.1.2. Protección física**

Cuando se trata de un escenario militar, existen una serie de datos que analizados por los sistemas de inteligencia militar pueden ser anunciadores de un inminente ataque biológico-químico, a grandes rasgos e independientemente de los que pueden ser interceptaciones de comunicaciones u observación del dispositivo enemigo, el tipo de munición a utilizar, el horario del ataque (los ataques de este tipo suelen hacerse preferentemente en horarios nocturnos), las condiciones meteorológicas velocidad y dirección del viento lejos de las tropas propias y a favor del posible objetivo, días nublados, bombardeos artilleros de gran superficie e escasa intensidad, vuelos a cota baja con rociado de sustancias, aparición de elementos pulverizadores, aparición de obuses huecos y/o con contenido de líquidos (se comprueban mediante sonografía, radiografía, o simplemente mediante observación táctil), detección en el terreno de gotas o manchas sospechosas, utilización de proyectiles fumígenos, aparición de enjambres de insectos después del lanzamiento de recipientes de aeronaves o emisiones desde un barco a barlovento, etc.

Cuando el escenario se trata de un objetivo terrorista civil, los datos para analizar la posibilidad de que sea blanco de este tipo de ataques es mucho mas aleatorio ya que si bien se busca la gran trascendencia social a la par se busca la vulnerabilidad del mismo y en última instancia crear la sensación en los ciudadanos de indefensión frente a este tipo de actos, el ataque no tiene por que realizarse con medios sofisticados ni voluminosos. En cualquier caso lugares especialmente sensibles son los sistemas de suministro de aguas potables, centros de suministro eléctrico, centros de control de regulación de tráfico y emergencias, medios de transporte colectivos en especial subterráneos, grandes centros comerciales o de colectividades, edificios emblemáticos o sedes de la administración , sedes de partidos políticos, religiosos, fuerzas armadas o cuerpos de seguridad del estado, siempre como denominador común se insiste en que requerirán el que no sean lugares con vigilancia intensa y especializada, de fácil acceso - huida y con gran trascendencia social incluso en el caso de que la propia administración intente silenciar el hecho para evitar el pánico en la población.

La protección total contra todos los agentes biológicos disponibles es prácticamente imposible, así pues se busca la protección de los mas letales, por lo que preventivamente se adopta la protección de las vías respiratorias.

Las prendas adecuadas de protección personal y sus equipos, expuestos en el tema tratado sobre contaminación y la aplicación de cobertores de nylon o similar removibles protegerán de la contaminación a las personas y equipos que necesariamente se hayan de exponer, para el resto de personal el uso de refugios adecuados será la protección indicada.

Para proteger súper estructuras militares contra contaminación NBQ, se puede utilizar sistemas de rociado de agua en continuo, que puestos en funcionamiento antes del ataque, durante y un tiempo después, aseguran la no contaminación de esos elementos y la evacuación de la contaminación que llega al sistema a zonas controladas, este mismo sistema de rociado, se puede utilizar en ocasiones para realizar lavados de contaminación de las superficies protegidas. Para que el sistema funcione correctamente se hace necesario su correcto diseño y uso.

El diseño apropiado de las superficies, permitirá el drenaje y la menor adhesión de la contaminación. Otras acciones propias de las unidades navales de superficie son la aplicación oportuna de maniobras tácticas que impidan o limiten la contaminación, como la velocidad, el cambio de rumbo, el maniobrar aprovechando los vientos, todo ello dependerá de la situación táctica, que condicionará la adopción de estas medidas para reducir la propagación de la contaminación.

#### 6.3.14.1.3. Descontaminación y control de zonas

Cuando existen indicios o evidencia de que una zona ha sufrido un ataque biológico, habrá que proceder a su delimitación mediante el análisis de muestras, análisis de datos meteorológicos-orográfico, urbanos-demográficos si es el caso e información referente al lugares y hora donde se ha desencadenado. Así como para el caso de contaminación química, existe una señalización específica militar para agresiones biológicas, para este caso valen la mayoría de las consideraciones contempladas en el capítulo dedicado a la Defensa Química. Cuando se trata de acciones urbanas, la autoridad civil debería de considerar las señalizaciones de manera que cumplan su eficaz misión sin que por su contenido provoquen mas alarma social de la inevitable. Para esta situación podría adecuarse los sistemas de codificación militar que informan de riesgos y solo son descifrables para las propias tropas sin que sirvan de información al enemigo en caso de que progresen por esas zonas (NATO,1996).



*Detector por infrarrojos de contaminantes biológicos*

La utilización de los equipos de protección personal NBQ junto con la observación de sus técnicas de uso, son garantía suficiente para evitar que la contaminación biológica afecte de manera significativa al personal. En caso de contaminación personal, el lavado con jabón (mejor germicida) y agua caliente son un buen método de descontaminación, mejor si son neutros y sin llegar a producir abrasiones en la piel, atendiendo de manera especial a la limpieza de intersticios como las uñas,

penetraciones cutáneas, ojos, nariz, boca, oídos y cabellos. La luz solar (ultravioletas y calor) suelen ser letales para la mayoría de los microorganismos por lo que la exposición a la misma sirve como descontaminación, en el caso de zonas oscuras y/o a baja temperatura la contaminación puede persistir durante horas o días.

Cuando se trata de descontaminar zonas o materiales de interés pueden rociarse estos con una disolución de lejía al 5% o superior si se quieren efectos más drásticos. Dado el que esta disolución puede atacar a las mucosas, piel, ojos y a la propia ropa así como a superficies de aluminio, hay que tomar las debidas medidas de protección personal y de equipos. Lo mismo ocurre con el agente descontaminante cloruro de cal con agua y DS2 que además de lo anterior puede atacar superficies metálicas transcurridas 24 horas, por todo ello después de la aplicación de estos productos y transcurrido un tiempo estimado, hay que limpiar con abundante agua limpia evitando la dispersión de la contaminación y tratar los efluentes contaminados adecuadamente.

Para la descontaminación a gran escala de personal y material, se deberán de prever zonas seguras que estén soportadas logísticamente con todas sus necesidades de alojamiento, transporte, sanidad, intendencia, accesos, autonomía de recursos energéticos e hídricos, etc. y sean capaces de tratar y controlar con la cadencia requerida al contingente que se le envíe. Para el caso de vehículos y otro material importante habrá que paliar las consecuencias del uso de descontaminantes que atacan cauchos, engrases, aislantes, pinturas, etc.

Todos los alimentos frescos que se encuentren en la zona contaminada se deberán de considerar como potencialmente contaminados y por lo tanto desechables para su consumo salvo su análisis específico que lo garantice o salvo que se sometan a un proceso de descontaminación supervisado. Cuando se trata de alimentos incluida el agua contenidos en recipientes herméticos, se podrán usar con la condición previa de esterilizar antes el recipiente (lavándolo con agua y jabón y/o hirviéndolo).

#### **6.3.14.1.4. Detección e identificación de agresivos biológicos**

La detección de un ataque con este tipo de agresivos es complicada puesto que en primera instancia no son detectados por el organismo y solo después de su acción por la sintomatología, desarrollo y número de afectados se pueden empezar a hacer predicciones. En cualquier caso para su detección e identificación se requieren medios materiales y humanos muy especializados, por lo que en el escenario del ataque en principio solo se podrá hacer una valoración muy aproximada y después mediante el análisis de muestras en los laboratorios especializados es donde se podrán precisar los agentes causantes. La toma de muestras necesitara de personal formado con material y métodos previamente establecidos, las muestras serán tanto de fluidos biológicos como ambientales (aire, agua, tierras, vegetales, animales-insectos, etc.). Una vez identificados los agentes agresivos, se podrán tomar medidas sanitarias específicas de tratamiento y profilaxis mediante vacunas, sueros, antibióticos, quimioterápicos... a parte de las sintomatologías tomadas en primeros auxilios. Para el tratamiento sanitario del personal afectado, es necesario la notificación precisa y exhaustiva de las enfermedades para lo que se deberá de cumplimentar



documentación previamente establecida respecto de su contenido y posterior análisis. Los afectados se trataran como el resto de paciente portadores de enfermedades contagiosas.



Imágenes de sistema de campo para medición de contaminante biológicos.

Tabla del material para la toma de muestras biológicas en los equipos de campo de primera intervención

Material(*)	Características
Maletín/es de transporte	estanco, ligero, antigolpes, con cerradura, descontaminable y discreto
Frascos lavadores	de 24x30 con tubos acodados con tapón de goma
Tubos de ensayo	de 14x140 en el interior tubo sin fondo con tapón
Tubos de ensayo	de 11x180 de polipropileno con tapón y escobillon-algodon
Traje de protección personal	vestimenta completa NBQ fija y desechables
Guantes de goma estériles	de varios tamaños
Mascarillas faciales	adaptables, protección boca-nariz y a ser posible ocular
Pera de goma	de 75cc.
Pinzas, elemento cortante y Tijeras	estériles

Tubos de ensayo	vacios con tapón de goma
Frasco de cristal de 250 cc	vidrio borosilicato con tapón-rosca y medidas con líquido isotónico o agua esteril
Sacos de plástico	resistentes, autosellables y no transparentes
Rotuladores	permanentes, de varios colores
Manuales	procedimientos de tomas de muestras, codificaciones y directorios
Planos	cartografía adecuada
Sistema de orientación	brújula-GPS
Cuaderno	identificado con bolígrafo-lapiz
Etiquetas autoadhesivas	
Sistemas de comunicación	Radiocomunicación autónoma, con cobertura, encriptada en su caso.
Sistemas de iluminación y visión nocturna	autónomos y recargables, fijación frontal y estancos
Equipos de medida de distancias	convencionales y ultrasónicos o de láser
Botiquín	de primeros auxilios y algo específico
Estación metereológica	portatil,anemómetro,higrómetro, termómetros,veleta,mastil telescópico
Sistema informático	portatil, tropicalizado, software específico incluido comunicaciones
Sistemas de aspiración	bomba de aspiración de pequeño caudal, autónoma, para líquidos y aire, provistas de diferentes filtros

(\*) El material sufrirá un proceso habitual de inventario, mantenimiento y actualización.

#### 6.3.14.1.5. Resumen

El uso de agentes biológicos como armas de guerra es muy antiguo, su peligro radica fundamentalmente en la capacidad de cualquier país o grupo armado para disponer de ellos con relativa facilidad, cuando se pretende un uso militar la complejidad para su uso aumenta, pero si se quiere utilizar como arma terrorista, su uso puede ser sencillo alcanzando una “rentabilidad” muy grande. El riesgo del uso de armas biológicas ha aumentado peligrosamente en los últimos años por la escalada terrorista y las guerras irregulares, donde la legislación y los tratados son de nula aplicación. La adecuada política preventiva de los países y sus organismos de cooperación internacional, pueden controlar y paliar de manera significativa los efectos del uso de este tipo de armas no convencionales.

**6.3.15. La Convención sobre Armas Biológicas (BWC)((Anexo a la Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas n° 2826, 1972)**

La BWC. titulada como Convención para la Prohibición del Desarrollo, Producción y Almacenamiento de armas Biológicas y Toxínicas y su Destrucción, data del 10 de abril de 1972 y en su introducción define como propósito el establecer una progresión hacia el desarmamiento general y completo de las armas de destrucción masiva y mas concretamente de las denominadas como Biológicas-Toxínicas, definiendo unas medidas efectivas que conduzcan a los objetivos de la convención bajo un efectivo y estricto control.

La BWC. se fundamenta en el Protocolo sobre la prohibición de el uso en la guerra de gases asfixiantes, venenosos u otros gases y métodos de guerra bacteriológicos firmado en Ginebra en junio de 1925, reafirmando los propósitos de este Protocolo y de la Carta de las Naciones Unidas.

La BWC. se compone de quince artículos cuyo resumen se expone a continuación:

Los Estados parte de la convención se comprometen a que bajo ninguna circunstancia desarrollaran, producirán, almacenaran, adquirirán o retendrán armamento de estas características. Solo se admitirá la producción de agentes biológicos específicos y en cantidades destinadas a usos pacíficos Los estados parte se comprometerán a destruir o reconvertir a usos pacíficos tan pronto como sea posible y nos mas tarde de nueve meses después de la entrada en vigor de la convención de todo este armamento que este bajo su jurisdicción y a hacer todo esto preservando la seguridad de las personas y del medio ambiente.

Los estados parte se comprometen a no transferir ni alentar a ningún estado, organización o grupo de manera directa ni indirecta ni prestar asistencia técnica, materiales o tecnologías destinadas a la producción ni cualquiera otro aspecto de los contemplados de este tipo de armas. Cada estado parte se compromete a desarrollar en legislación propia que asegure en cualquier demarcación bajo su control la aplicación de la convención. Para la mejor aplicación de la convención los estados parte pueden y deben establecer cuando así se considere necesario asistencia técnica y cooperación en el marco establecido por la ONU. y las transgresiones de la misma una vez comprobadas serán objeto de análisis y dictamen por parte del Consejo de Seguridad de la ONU., los países facilitaran las labores de inspección que a los efectos se determinen.

Todos los estados signatarios de la convención reconocen el sentido de la misma y sus compromisos y la imposibilidad de trasgresión de la misma por ningún estado miembro. Se permite la investigación por separado y conjunta en todo lo que se refiera a los usos pacíficos de estos elementos, se entiende que el desarrollo de tecnología de protección contra estas armas entraría dentro de estos apartados y a la vez se establece la necesidad de una implementación económica y tecnológica que permita en todos los

estados signatarios alcanzar de manera efectiva y homogénea los propósitos de la convención.

La mejora de la convención puede realizarse a propuesta de los estados parte previa aceptación en cada uno de ellos o cuando se acepte por la mayoría de los mismos, rigiendo a partir de entonces su aplicación. Cinco años después de la firma se proponía una conferencia de los estados parte en Ginebra para el control de la aplicación de la BWC. Esta convención tendrá una duración ilimitada y cada estado miembro ejerciendo su soberanía puede retirarse de la misma si considera amenazados sus intereses supremos, esta retirada será notificada a los estados parte y al Consejo de seguridad de las Naciones Unidas con tres meses de antelación mínimo.

La convención esta abierta a cualquier estado que podrán adherirse a la misma en cualquier momento, para lo que deberá de entregar los instrumentos acreditativos de su adhesión en los gobiernos depositarios que a su vez se comprometen a notificar al resto de todos estos incidentes o cualquiera otros que se produzcan al respecto de la citada convención, siguiendo el Artículo 102 de la Carta de la Naciones Unidas. La convención se promulgó en Inglés, Ruso, Francés, Español y Chino y documentos autenticados fueron depositados en los Gobiernos Depositarios que se encargaron de su traslado a los estados parte.

La BWC. ha sido un documento que se tomado en consideración a la hora de redactar su predecesor sobre armas químicas, si bien tal y como puede comprobarse por comparación este último ha sido mucho mas depurado y desarrollado en todos sus aspectos y en especial a los que afectan a los aspectos técnicos y prácticos que al fin y a la postre serán los que hagan mas o menos efectiva la aplicación de este tipo de acuerdos internacionales, básicamente nos referimos en la CAQ. frente a la BWC. a la creación de un organismo dependiente de las Naciones Unidas dotado de medios materiales y humanos propios destinado a la puesta en marcha del tratado y a su control y mejora posterior.

Desde la entrada en vigor del BWC. la experiencia ha demostrado que la utilidad del mismo no ha sido todo lo efectiva que se hubiera deseado ya que ni la adhesión de estados al tratado ha aumentado de manera significativa y por otro lado se ha detectado en diferentes escenarios de guerra el uso de este tipo de armamento incluso en modalidades nuevas que incluyen actos de sabotaje de grupos terroristas, razones por las que debería de revisarse la convención y actualizarse a la vez que dotarle de aspectos que la hicieran realmente operativa, podría utilizarse como base para ello la CAQ.

### **6.3.16. Normas FEMA Departamento de Seguridad Nacional EE.UU Ataques terroristas con armas químicas y biológicas**

Armas químicas y biológicas

En caso de un ataque con armas químicas o biológicas cerca de usted, las autoridades le indicarán cuál es el mejor curso de acción. Esto podría ser evacuar el área inmediatamente, buscar refugio en un lugar designado o refugiarse inmediatamente donde usted se encuentra y sellar el lugar. La mejor forma de protegerse a sí mismo es tomar medidas de preparación para emergencias por anticipado y obtener atención médica tan pronto como sea posible, de ser necesario.

#### Agentes químicos

Los agentes químicos bélicos son vapores, aerosoles, líquidos o sólidos venenosos que tienen efectos tóxicos en la gente, los animales o las plantas. Pueden emitirse por medio de bombas, rociarse desde aeronaves, embarcaciones o vehículos, o utilizarse como un líquido para crear un riesgo para la gente y el medio ambiente. Algunos agentes químicos pueden no tener olor ni sabor. Pueden tener un efecto inmediato (desde algunos segundos hasta algunos minutos) o un efecto demorado (desde varias horas hasta varios días.) Aunque potencialmente son letales, los agentes químicos son difíciles de emitir en concentraciones letales.

Afuera, los agentes se disipan rápidamente. Los agentes químicos también son difíciles de producir.

Existen seis tipos de agentes:

- Los agentes que dañan los pulmones (pulmonares), tales como el fosgeno,
- El cianuro,
- Los agentes vesicantes o que causan ampollas, tales como la mostaza,
- Agentes que atacan el sistema nervioso, tales como GA (tabun), GB (Sarin), GD (soman), GF y VX.
- Agentes incapacitantes, tales como BZ, y
- Agentes de control de disturbios o motines (similares a MACE).

#### Agentes biológicos

Los agentes biológicos son organismos o toxinas que pueden matar o incapacitar a la gente, el ganado y las cosechas. Los tres grupos básicos de agentes biológicos que con mayor probabilidad se utilicen como armas son bacterias, virus y toxinas.

1. Bacterias. Las bacterias son organismos pequeños que viven libremente y que se reproducen por división simple y son fáciles de cultivar. Las enfermedades que producen a menudo responden al tratamiento con antibióticos.

2. Virus. Los virus son organismos que requieren células vivas para

reproducirse y dependen íntimamente del cuerpo que infectan. Los virus producen enfermedades que por lo general no responden a los antibióticos. No obstante, las drogas antivirales a veces son eficaces.

3. Toxinas. Las toxinas son sustancias venenosas que se encuentran y se extraen de plantas, animales o microorganismos vivos; algunas toxinas pueden producirse o alterarse por medios químicos. Algunas toxinas pueden tratarse con antitoxinas específicas y drogas selectas.

La mayoría de los agentes biológicos son difíciles de cultivar y mantener. Muchos se descomponen rápidamente cuando están expuestos a la luz solar y otros factores del medio ambiente, mientras que otros, tales como las esporas de ántrax, tienen una vida larga. Pueden dispersarse rociándolos en el aire o infectando a los animales que transmiten la enfermedad a los humanos a través de la contaminación de los alimentos y el agua.

- Aerosoles – Agentes biológicos que se dispersan en el aire, formando un rocío fino que puede extenderse por millas. Inhalar el agente puede causar enfermedades en las personas o los animales.

- Animales – Algunas enfermedades se propagan por medio de insectos y animales, tales como pulgas, ratas, moscas y mosquitos. Deliberadamente propagar enfermedades a través del ganado también se denomina agro-terrorismo.

- Contaminación de los alimentos y el agua – Algunos organismos y toxinas patógenas pueden persistir en los suministros de agua y alimentos. La mayoría de los microbios pueden matarse y las toxinas pueden desactivarse cocinando los alimentos e hirviendo el agua.

En el otoño de 2001, esporas de ántrax elaboradas en forma de un polvo blanco fueron enviadas por correo a personas del gobierno y los medios de comunicación. Las máquinas de clasificación de la correspondencia postal y abrir las cartas dispersó las esporas en forma de aerosoles. Ocurrieron algunas muertes como resultado de esto. El efecto era interrumpir el servicio de correos y causar pánico general entre el público con respecto al manejo de la correspondencia entregada.

La propagación de persona a persona de algunos agentes infecciosos también es posible. Los humanos han sido la fuente de infecciones de viruela, plaga bubónica y los virus Lassa.

#### *Qué hacer para prepararse para un ataque químico o biológico*

- Reúna un equipo de suministros para desastres (véase el capítulo titulado “Planificación de emergencias y suministros para desastres” para obtener más información) y esté seguro de incluir:

- Un radio comercial de batería con batería adicionales
- Alimentos no perecederos y agua potable.
- Un rollo de cinta adhesiva para conductos y tijeras.
- Hojas de plástico para las puertas, las ventanas y las salidas de ventilación para la habitación en la que se refugiará. Ésta debe ser una habitación interna donde pueda bloquear el aire que pueda contener agentes químicos o biológicos peligrosos. Para ahorrar tiempo crucial, las hojas de plástico deben medirse y cortarse previamente para cada abertura.

- Botiquín de primeros auxilios.
- Suministros sanitarios, incluyendo jabón, agua y blanqueador.

*Qué hacer durante un ataque químico o biológico*

1. Escuche la radio para instrucciones de las autoridades tales como si debe permanecer adentro o evacuar el área.

2. Si se le indica que permanezca en su casa, el edificio donde se encuentra, u otro refugio durante un ataque químico o biológico:

- Cierre toda la ventilación, incluyendo la calefacción, los acondicionadores de aire, las salidas de ventilación y los ventiladores.

• Busque refugio en una habitación interna, preferiblemente sin ventanas. Selle la habitación con cinta adhesiva para conductos y hojas de plástico. Un espacio de diez pies cuadrados de piso por persona proporcionará suficiente aire para evitar la acumulación de bióxido de carbón hasta por cinco horas. (Véase el capítulo titulado “Refugio”).

- Permanezca en áreas protegidas donde los vapores tóxicos se reduzcan o eliminen, y asegúrese de llevarse consigo su radio de batería.

3. Si queda atrapado en un área no protegida, usted debe:

- Intentar ir a un lugar en el que el viento sople hacia el área contaminada.

- Intentar encontrar un refugio tan pronto como sea posible.
- Escuchar las instrucciones oficiales en su radio.

*Qué hacer después de un ataque químico*

Los síntomas inmediatos de la exposición a agentes químicos pueden incluir vista borrosa, irritación en los ojos, dificultad para respirar y náuseas. Una persona afectada por un agente químico o biológico requiere atención inmediata por parte de

personal médico profesional. Si la atención médica no está disponible inmediatamente, descontamínese usted y ayude a descontaminar a otros. La descontaminación tiene que llevarse a cabo a los pocos minutos de la exposición a fin de reducir al mínimo las consecuencias a la salud. (No obstante, usted no debe salir de la seguridad de un refugio para ir afuera a ayudar a otros, a menos que las autoridades anuncien que es seguro hacerlo.)

1. Use extrema precaución al ayudar a otros que han estado expuestos a agentes químicos:

- Quítele toda la ropa y otros artículos que estén en contacto con el cuerpo. La ropa contaminada que normalmente se quita por la cabeza debe cortarse para evitar el contacto con los ojos, la nariz y la boca. Póngala en una bolsa plástica si es posible. Descontamine las manos con agua y jabón. Quítele a la persona los anteojos o los lentes de contacto. Ponga los anteojos en un recipiente con blanqueador doméstico para descontaminarlo.

2. Quítese todos los artículos que estén en contacto con el cuerpo.

3. Enjuáguese los ojos con abundante agua.

4. Lávese suavemente la cara y el pelo con agua y jabón; y luego enjuáguese bien con agua.

5. Descontamine otras áreas del cuerpo que puedan haberse contaminado. Lávese el cuerpo suavemente (sin restregar) con un paño empapado en agua jabonosa y enjuáguese con agua limpia.

6. Cámbiese la ropa a ropa que no esté contaminada. La ropa guardada en gavetas o clósets probablemente no estará contaminada.

7. Si es posible, vaya a una instalación médica para que lo examinen.

#### *Qué hacer después de un ataque biológico*

En muchos ataques biológicos, la gente no sabrá que ha estado expuesta a un agente. En tales situaciones, el primer indicio de un ataque podría ser cuando usted note síntomas de la enfermedad causada por la exposición a un agente. En tal caso, debe buscar atención médica inmediata para recibir tratamiento.

En algunas situaciones, como con las cartas con ántrax en el 2001, la gente puede ser alertada a la posible exposición. Si este es el caso, preste atención a todas las advertencias e instrucciones oficiales sobre la manera de proceder. La atención médica para un ataque biológico podría manejarse de una manera diferente para responder a la mayor demanda. De nuevo, será importante que usted preste atención a las instrucciones oficiales por radio, televisión y los sistemas de alerta de emergencia.

Si su piel o su ropa entra en contacto con una sustancia visible y



potencialmente infecciosa, debe quitarse la ropa y artículos personales y ponerlos en una bolsa y usted debe lavarse inmediatamente con agua jabonosa. Póngase ropa limpia y busque atención médica.

Para obtener más información, visite el sitio del Web de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades en [www.bt.cdc.gov](http://www.bt.cdc.gov).

Agente	Contagio entre humanos	Dosis (Aerosol)	Período de incubación	Duración de la enfermedad	Letalidad	Persistencia en el Organismo	Eficacia de Vacuna (Exposición a aerosol)
Inhalación antrax	No	8,000-50,000 esporas	1-6 días	3-5 días (usualmente fatal sin tratamiento)	Alta	Muy estable – esporas permanecen viables >40 años en suelos	2 dosis eficacia contra: 200-500 LD <sub>50</sub> en monos
Brecha de B. anthracis	No	10-100 organismos	5-60 días (usualmente 1-2 meses)	Semanas a meses	<5% sin tratamiento	Muy estable	No hay vacuna
Cólera	Rara	10-500 organismos	4 horas - 5 días (usualmente 2-3 días)	≥ 1 Semana	Baja con tratamiento, Alta sin él	Inestable en aerosol & agua fresca; estable en agua salada	No hay datos en aerosol
Glanders	Baja	Asumido bajo	10-14 días vía aerosol	Muerte en 7-10 días en forma septicémica	> 50%	Muy estable	No hay vacuna
Plaga neumónica P. Bubónica	Alta	100-500 organismos	2-3 días	1-6 días (usualmente fatal)	Alta sin tratamiento, entre 12-24 hrs.	Por más de un año en suelos; 270 días en tejidos vivos	3 dosis no protegen contra 118 LD <sub>50</sub> en monos
Tularemia	No	10-50 organismos	2-10 días (promedio 3-5)	≥ 2 semanas	Moderada sin tratamiento	Por meses en suelos húmedos u otro medio	80% protección contra 1-10 LD <sub>50</sub>
Ebola	Moderada	1-10 organismos	4 a 21 días	Muerte en 7-16 días	Alta por virus de Zaire y moderada con el de Sudán	Relativamente inestable	No hay vacuna
Viruela	Alta	Asumido pocos (10-100 organismos)	7-17 días (promedio 12)	4 semanas	Alta a moderada	Muy estable	Vacuna protege contra largas dosis en primates
Botulismo	No	0.001 µg/kg es LD <sub>50</sub> para el tipo A	1-5 días	Muerte en 24-72 hrs; unos meses sino es letal	Alta sin soporte ventilatorio	Por semanas en aguas sin movimiento y comidas	3 dosis eficacia 100% contra: 2.5-2.50 LD <sub>50</sub> en primates
Rotin	No	3-5 µg/kg es LD <sub>50</sub>	18-24 horas	Días – muerte dentro 10-12 días de ingestión	Alta	Estable	No hay vacuna

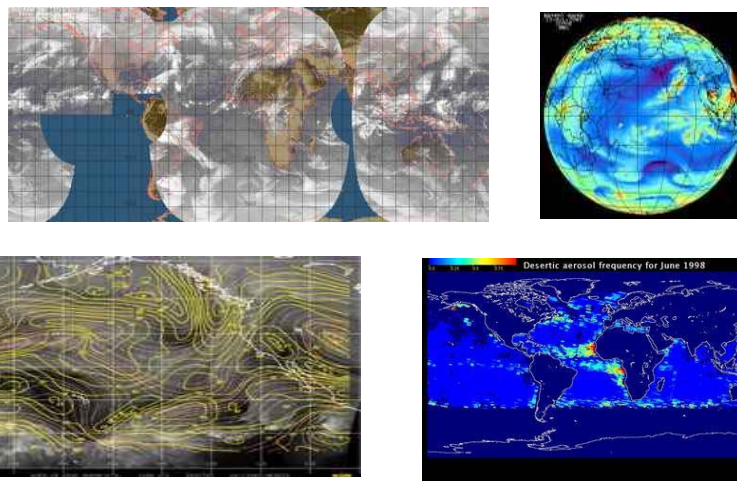
## Características de los principales Agentes Biológicos

## ANEXO IV: METERELOGÍA, OROGRAFÍA, VEGETACIÓN Y OTROS ASPECTOS INFLUYENTES EN LA DISPERSIÓN Y PERSISTENCIA DE LA CONTAMINACIÓN

### 6.4.1. Breve introducción a la meteorología (Wallace, J.M et alt, 2006)

#### 6.4.1.1. 1. Meteorología

Es la ciencia que estudia la atmósfera y a los fenómenos que en ella se desarrollan, son fenómenos temporales.



*Imágenes de satélites de fenómenos atmosféricos.*

#### 6.4.1.1.2. Clasificación de los fenómenos meteorológicos por su naturaleza

**6.4.1.1.2.1.1. Hidrometeoros:** se realizan por cambios de temperatura principalmente asociados con el agua en sus distintas fases, ejemplo: lluvia, nieve, granizo, heladas, rocío, humedad del aire y nubes.

**6.4.1.1.2.1.2. Fotometeoros:** se realizan por fenómenos físicos relacionados con la luz, refracción, reflexión, etc. ejemplos: el arco iris, espejismos, halos, auroras boreales y coronas.

**6.4.1.1.2.1.3. Electrometeoros:** Se generan por fenómenos de interacción electrostática de la atmósfera y la superficie terrestre, ejemplos: los truenos, los rayos y relámpagos.

#### 6.4.1.1.3. **Atmósfera**

- a) Concepto: Es la capa gaseosa que protege a la tierra.
- b) Importancia: Protege a la tierra de la poderosa radiación solar.
  - Es indispensable para el desarrollo de la vida.
  - Conserva la temperatura propia para el intercambio con la tierra durante las noches.
  - Permite el desarrollo del ciclo hidrológico.
- c) Composición química original:
  - Nitrógeno.
  - Oxígeno.
  - Argón.
  - Anhídrido Carbónico.
  - Hidrogeno.
  - Gases Raros
  - Aerosoles-Elementos sólidos
  - Vapor de agua -variable por las condiciones del tiempo.
- d) Estructura: La atmósfera esta estructurada por 4 capas:
  - Troposfera.
  - Estratosfera.
  - Ionosfera.
  - Exosfera.

**6.4.1.1.4. Estratosfera:** se localiza de los 12 a los 80 Km. y en los 35 se encuentra la capa de ozono que absorbe los rayos ultravioletas. en esta capa el oxígeno es mas escaso, se forman las nubes, es la mas propia para la navegación aérea.

Ionosfera: construida por una gran cantidad de partículas cargadas eléctricamente que generan campos y corrientes eléctricas, en esta zona se produce la incandescencia de los meteoritos por fricción. Es una zona excelente para la transmisión de ondas electromagnética, es por ello que en la misma se han colocado satélites de comunicaciones, se localiza de los 80 a los 1100 Km.

**6.4.1.1.5. Exosfera:** Se localiza de los 1100 Km. y no se ha definido su fin, la característica de esta capa es que durante el día alcanza temperaturas muy altas y durante la noche muy bajas.

#### e) Propiedades físicas:

Diatérmica: la atmósfera no absorbe la radiación directa solo calor que conserva gracias a su transparencia.

Movilidad: la atmósfera esta en constante movimiento y cambios de temperatura y presión.

Expansibilidad: Disminuye la presión de la atmósfera cuando se expande.

Comprensibilidad: Reduce su volumen al aumentar la presión.

Transparencia: la atmósfera es transparente e incolora.

#### 6.4.1.1.6. **Radiación**

- a) Concepto: Es el proceso físico mediante el cual se transmite energía en forma

de ondas electromagnéticas.

b) Características: esta compuesto por radiaciones electromagnéticas y otras partículas nucleares de alta energía, entre ellos tenemos los infrarrojos, ultravioletas, rayos cósmicos etc.,

c) Distribución de la radiación por latitud: la radiación solar recibe menor cantidad de energía a mayores latitudes, por ello encontraremos igual cantidad de energía o latitudes iguales y similitud en flora y la fauna.

d) Ley del Coseno de Oblicuidad: esta ley nos dice que los rayos solares a medida que llegan con mayor inclinación, menor es la cantidad de energía recibida.

e) Constante solar: Es la cantidad de energía que se requiere para calentar un  $\text{cm}^2$  de atmósfera en un minuto. Su valor es de 2 calorías por  $\text{cm}^2$  por minuto.

2 calorías /  $\text{cm}^2$  / min.

f) Ley de Bouger: A medida que los rayos solares tengan que atravesar mayor espesor de la capa atmosférica menor será la cantidad de energía recibida en la superficie terrestre (para una misma densidad y composición).

g) Fenómenos que producen la atmósfera sobre la radiación son tres:

Absorción: se da cuando un flujo de radiación penetra en un cuerpo y su energía se transforma en calor una parte y otra da origen a otros fenómenos

Físico-químicos. La atmósfera absorbe un promedio del 40 % de la energía que le llega.

Reflexión: Sucede cuando un flujo de radiación al incidir sobre un cuerpo es devuelto sin modificar sus características, se refleja el 43 % del total de radiación.

Dispersión: cuando un flujo de radiación al incidir sobre un cuerpo es desviado en diferentes direcciones sufriendo modificaciones aproximadamente es el 17 % de la radiación total.

#### **6.4.2. Un método práctico y sin necesidad de instrumental para predecir las condiciones meteorológicas**

La observación de las nubes es un sistema auxiliar para predecir el tiempo a corto plazo y de manera local (Holton, J.R, 2004).

Un pronóstico del tiempo más requiere por parte del observador la información y disponibilidad de muchos otros datos sobre las nubes: Su origen y evolución, o los fenómenos que las acompañan, como pueden ser los hidrometeoros (lluvia, granizo, etc.), u otros fenómenos ópticos. Además hay que tener en cuenta también el sector de cobertura de las nubes en el cielo, que se mide en décimas partes: por ejemplo, un cielo absolutamente despejado corresponde a 0 y totalmente cubierto a 10. El movimiento, la dirección la velocidad y la altura de las nubes son factores que también deberán tenerse en cuenta al efectuar un pronóstico. Estos aspectos son, a grandes rasgos, los que un buen aficionado a la meteorología deberá constatar si desea convertirse, al menos, en un experto observador de nubes. Si, además, dispone de un buen atlas de nubes para evitar confusiones o dudas, la tarea será más fácil.

El "observador" de nubes deberá proveerse de un cuaderno de campo para anotar la evolución del cielo y los posteriores fenómenos meteorológicos en una zona determinada, como por ejemplo la de operaciones habituales, este diario servirá de

valioso recordatorio como ayuda en la predicción, que en algunos casos puede llegar a ser más preciso que el parte meteorológico oficial.

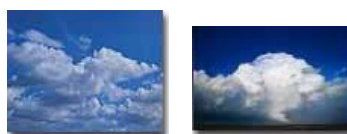
#### 6.4.3. Imágenes de sistemas nubosos



*Imágenes de Cirros, Cirrocúmulos, Cirrostratos, Altocúmulos, Altomcúmulo lenticular.*



*Imágenes de Altoestratos, Estratocúmulos, Estratos, Nimboestratos.*



*Imágenes de Cúmulos, Cumulonimbos.*

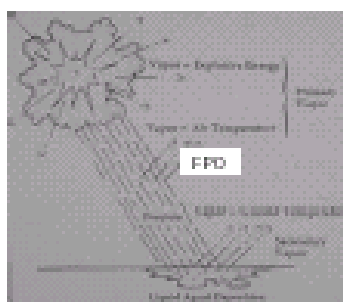
#### 6.4.4. La dispersión de contaminantes en la atmósfera

En la dispersión de los contaminantes influyen de manera significativa las condiciones meteorológicas existentes en el momento de la emisión así como la evolución de estas en el período posterior, además de la morfología del terreno y la vegetación del mismo. En menor grado también influyen en la dispersión las características físicas y químicas del elemento contaminante y sus posibles interacciones con la atmósfera circundante así como las características del foco emisor (Stull, R.B, 1988).

En función del método de emisión utilizado para el agente contaminante, las condiciones meteorológicas influenciadoras, serán las reinantes a determinada altura en principio o en cualquier caso las existentes a nivel del suelo, que por otro lado van a ser las mas decisivas sobre la interacción con el ser humano y otros elementos a considerar desde el punto de vista de la seguridad.

Indiscutiblemente la predicción y estudio de la evolución de la contaminación, va

a posibilitar la adopción de medidas eficaces de protección o la evaluación correcta en efectos y extensión de la agresión, dos aspectos fundamentales a considerar dentro de la Defensa NBQ.



*Nube de contaminación química, contaminación producida en el suelo por explosión aérea y resuspensión posterior*

#### 6.4.5. El Gradiente de Temperatura

El Gradiente de Temperatura (G), se define como la diferencia existente entre las temperaturas de dos puntos situados a diferente altura y en las misma vertical. Suele tomarse para dispersiones de contaminantes en nuestro caso, las alturas de referencia 1.80 y 0.30 mts.. Esta diferencia de temperaturas será un indicador de la estabilidad atmosférica e influirá únicamente en el movimiento vertical del aire.

$$G=T(1.80)-T(0.30)$$

Según esta diferencia sea positiva, negativa o aproximadamente cero, se darán los siguientes fenómenos:

##### 6.4.5.1.1. Gradiente positivo

La temperatura aumenta en altura, esta situación se denomina "inversión en temperaturas", en estas circunstancias las capas más bajas, están más frías y por lo tanto son más densas, por lo que prácticamente no existen corrientes de convección ascendentes y por lo tanto el contaminante, persistirá a nivel del suelo. Generalmente este gradiente se produce durante las noches básicamente despejadas, la nubosidad existente será inferior a un 30% y serán nubes desarrolladas a media y baja altura. Esta situación se prolonga hasta una hora después de amanecer. En estas condiciones básicamente se producirá una pequeña difusión de la nube contaminante en el sentido vertical y lateral.

#### **6.4.5.1.2. Gradiente negativo**

La temperatura disminuye con la altura, esta situación se denomina como "lapso", las capas más bajas de aire están más calientes y por lo tanto son menos densas, esto provocara la tendencia a la elevación mediante corrientes de convección que ayudaran a la dilución del contaminante. Estas circunstancias se suelen producir en días soleados y semicubiertos.

#### **6.4.5.1.3. Gradiente neutro**

Las temperaturas se conservarán básicamente iguales a diferentes alturas (diferencia absoluta menor o igual que 0.2 °C), por lo tanto lo mismo ocurrirá con las densidades del aire. Esta situación suele producirse al anochecer y al amanecer. Bajo estas circunstancias, se favorece la persistencia de la contaminación en el nivel original.

De día y con el cielo despejado los puntos separados por distancias cortas en altura, reciben prácticamente la misma cantidad de calor del sol, pero la tierra al reflejar parte de este, ayuda a calentar más las capas inferiores de aire, disminuyendo su densidad y provocando su elevación.

De noche la tierra al ser más conductora del calor que el aire, se enfría más rápidamente que este, provocando el enfriamiento rápido de las capas de aire superficiales, disminuyendo su densidad y eliminando la difusión por convección.

Al amanecer y atardecer el gradiente tiende a hacerse neutro o casi positivo con viento débil. El cielo cubierto provoca una menor insolación y la tendencia al gradiente neutro.

Cuando el cielo está cubierto, la acción del sol es neutralizada en parte y a su vez lo mismo ocurre con el gradiente.

#### **6.4.5.1.4. Influencia del viento en el Gradiente de Temperatura**

Cuando el viento fluye a ras del suelo, se producen dos fenómenos, el enfriamiento del suelo que será más rápido cuanto mayor sea esta velocidad, con el correspondiente enfriamiento de las capas bajas de aire que generarán situaciones de "lapso" o "neutralidad" y la mezcla de las capas de aire de diferente densidad unificando esta, creando situaciones de "neutralidad".

Como resumen en general se puede decir que los vientos de velocidad inferior a 15 Km./h no afectan al Gradiente de Temperatura. Cuando la velocidad está comprendida entre los 15 y los 20 Km./h., el gradiente disminuye acercándose a las condiciones de



"neutralidad" e incluso "lapso". Cuando la velocidad excede los 20 Km./h. se producirá la condición de "neutralidad" debido a las mezclas producidas.



*La dispersión de gases de guerra en el campo de batalla.*

#### **6.4.6. El viento**

El viento además de influir en el gradiente de temperatura, determinara la dirección principal de la dispersión del contaminante, de manera que prediciendo el comportamiento de este, predeciremos la zonas afectadas por la contaminación y esto se podrá hacer con antelación, de manera que podamos instaurar medidas preventivas de seguridad en las mismas.

Con vientos inferiores a los 20 Kms./h., la nube permanece por lo general compacta y se mueve en bloque, sin embargo a velocidades superiores la nube se fragmenta aumenta la dispersión de la contaminación a la vez que disminuye la concentración de la misma, por lo que las medidas de protección aumentarán su eficacia.

El viento sobre la superficie terrestre, favorecerá la evaporación de los contaminantes, por lo que disminuirá su persistencia a nivel de suelo, aunque pasara a aumentar la contaminación atmosférica local en la dirección del mismo, con una disminución de la concentración en general progresiva con la distancia.

##### **6.4.6.1.1. Factores que influyen en la dirección del viento**

Los accidentes orográficos naturales o artificiales, pueden modificar la dirección natural del viento dominante, creando turbulencias y cambios de trayectorias que en ocasiones pueden llegar a ser hasta opuestas a la original.

#### **6.4.6.1.1.1. La topografía natural del terreno**

El viento dominante contornea las crestas de las pendientes suaves, creando a ras del suelo contracorrientes ligeramente ascendentes.

Cuando existen pequeños valles trasversales a la dirección del viento dominante, se crean en cada uno de ellos un viento local de dirección opuesta la principal.

Si el obstáculo es un montículo aislado, se creara unas contracorrientes en la vertiente opuesta, donde se concentraran todas las ramificaciones en las que se ha dividido la corriente principal para sortear el obstáculo.

Cuando existe un talúd de pendiente importante, se crearan contracorrientes ascendentes en la ladera.

#### **6.4.6.1.1.2. La topografía artificial del terreno**

Si los perfiles aerodinámicos de los obstáculos son superficies planas y de relativa extensión, se crearán turbulencias alrededor de los mismos, frontal, laterales, parte superior y trasera.

#### **6.4.6.1.1.3. La presencia de importantes cantidades de agua**

En los litorales marinos durante la noche se establecen corrientes de aire caliente desde el mar al interior de la tierra y de aire frío desde la tierra al mar, debido a la actuación termorreguladora que efectúa la presencia de agua. Estas corrientes dependerán entre otras consideraciones de la salinidad del mar, sus corrientes litorales y las características morfológicas del terreno litoral y sus contenidos.

En los litorales marinos durante el día, el aire caliente de la tierra se dirige hacia el mar y el fresco del mar hacia la tierra. De esta forma podemos observar que en la línea litoral existe un permanente intercambio de las capas de aire superficiales, que favorecería la dispersión y la disminución de la concentración de los contaminantes.

Cuando existen cursos de agua de gran caudal, el viento suele tomar a nivel superficial la dirección del caudal, sobre todo cuando este circula por estrechos desfiladeros y zonas angostas.

#### **6.4.6.1.1.4. La topografía natural del terreno, montañas.**

Cuando se trata de terrenos muy montañosos debido a la fragmentación del

mismo, no suele producirse una dirección dominante del viento, en este caso aparecen diferentes vientos locales que en general de día suben de los valles a las montañas y por la noche siguen el camino inverso.

#### **6.4.6.1.1.5. Zonas con bosques.**

Es importante para predecir los efectos de los árboles en el conjunto de una masa forestal sobre el viento, el conocer su altura promedio, su densidad superficial y su distribución si esta no es aleatoria o evidencia importantes sesgos, como una mayor frondosidad en zonas que contengan más agua en la masa forestal o sean más umbrías. También es importante analizar que tipo de árboles se trata (por su frondosidad) y en que época del año estamos. El efecto de un árbol aislado se asemejara al del montículo, creando en su parte posterior contracorrientes ascendentes y a nivel de los troncos, prácticamente no se producirán alteraciones, salvo que el diámetro de estos sea muy significativo. A este nivel inferior la dirección dominante del viento se conserva. siempre que la vegetación existente a este nivel no sea importante.

Las tormentas provocan debido a las turbulencias que conllevan, una dilución de los contaminantes por su mayor difusión y dispersión. Cuando se producen precipitaciones en forma de lluvia, nieve, etc., los contaminantes son arrastrados hacia el suelo dependiendo este arrastre de la intensidad de la precipitación, la granulometría en su caso del contaminante, sus características físicas, la presencia de turbulencias ascensionales que refloten parte de lo que esta en fase de precipitación, etc. Una vez depositados en el suelo, se produce la eliminación de parte de ellos, debido a fenómenos de lixiviación, hidrólisis, etc.

Si el contaminante se deposita sobre la nieve la persistencia del contaminante aumenta debido a su mayor índice de fijación al suelo, aunque por otra parte tal y como se analizara en otro capítulo, puede que en esas condiciones de temperatura la eficacia del agresivo en su caso disminuya al igual que su eficacia como contaminante a nivel vapor.

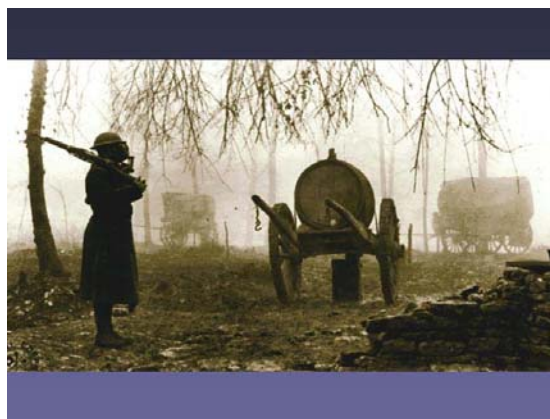
#### **6.4.7. La humedad ambiental**

La hidrólisis que se produce en los contaminantes, puede aunque en un grado muy pequeño, favorecer la destrucción de agresivos químicos, sin que este factor altere de manera significativa las características y la trayectoria de la nube.

Algunos agresivos químicos como los vesicantes (p.e. la Lewisita a la que le afecta de manera importante la presencia de agua), potencian su acción cuando inciden sobre la piel húmeda.

Una temperatura elevada y alta humedad relativa puede por un lado favorecer la condensación de vapor de agua entorno a los núcleos de los aerosoles, con el consiguiente aumento de tamaño de estos y por lo tanto disminuyendo su posible asimilación pulmonar, con la consiguiente disminución de la capacidad agresiva del agente agresivo, mientras que por otro lado, el efecto combinado de alta temperatura y alta humedad relativa,

provocara una gran transpiración por la piel que acelerara la labor de los productos vesicantes y el paso de los agentes percutáneos.



*La contaminación y el entorno natural, centinela equipado con máscara BQ.*

#### **6.4.8. La temperatura ambiente**

Las altas temperaturas ambientales, favorecerán la dispersión del agente químico, generando por evaporación nubes y aumentando la difusión de estas con la consecuente disminución de las concentraciones a la vez que disminuye la persistencia del contaminante. Por otro lado este tipo de temperaturas favorece la transpiración por la piel, por lo que puede aumentar la penetración de agresivos en el cuerpo, efecto este aumentado por que en esas condiciones las personas harán uso de menor cantidad de ropa y por lo tanto tendrán menor protección. Las temperaturas opuestas, generan los fenómenos opuestos en general.

Cuando se realiza un ataque con un agente químico, se producirán una serie de gotas, aerosoles y vapor en proporciones distintas en el aire a la vez que una contaminación del terreno.

Sólo las partículas de un determinado valor dimensional son capaces de penetrar y ser absorbidas por lo pulmones, las partículas mayores son detenidas en las vías respiratorias superiores y a su vez las más pequeñas son exhaladas. Por lo tanto para unos valores de 0.5 a 3 micrones se obtienen los máximos valores de penetración y retención de partículas en los pulmones. Los agentes químicos absorbidos por la vía pulmonar actúan de manera rápida en el organismo mientras que los absorbidos por la piel o mucosas tardan un tiempo en manifestar sus efectos.

Las temperaturas elevadas favorecen la formación de partículas de tamaños pequeños cuya penetración pulmonar será superior a la vez que aumenta la vaporización sumándose este al efecto anterior y por lo tanto multiplicando la capacidad lesiva. Esta evaporación forzada por las altas temperaturas, provocara además nubes de altas concentraciones locales de agresivos.

Por ejemplo la contaminación realizada con una emisión de gas Iperita en una dosis media de  $30 \text{ g/m}^2$ , puede persistir durante días o semanas si la temperatura es inferior a  $10^\circ \text{C}$  y vientos medios mientras que con  $25^\circ \text{C}$  esta duraría únicamente un día y medio.

#### **6.4.9. Los efectos combinados del viento y el estado atmosférico sobre las nubes de contaminantes**

Las nubes tóxicas que se producen en un ataque químico se asemejan a las producidas con la contaminación industrial, de manera que los modelos físico-matemáticos que estudian el comportamiento de estos, pueden ser de aplicación al caso NBQ. En el caso de las agresiones BQ., existen unas características específicas que diferencian el origen de la nube, tal y como son la multiplicidad de los focos de emisión y el alto rendimiento de los mismos (emiten su contenido en un breve espacio de tiempo), todo ello hace que la concentración inicial de la nube tóxica sea en general superior a la de contaminación industrial.

#### **6.4.10. Los efectos de la naturaleza del suelo en la contaminación**

La composición química del suelo, su homogeneidad, su textura, sus desniveles, su insolación, la porosidad, etc., conforman junto con las propiedades físico-químicas del agresivo y otros factores ambientales, la persistencia del mismo sobre el terreno. Si la penetración del agresivo en el terreno es grande, porque se utilice un agente líquido p.e., el riesgo de contaminación por contacto es bajo, pero la persistencia aumenta ya que esta incorporación en profundidad al terreno, elimina la acción de factores evaporadores tales como el viento o la temperatura alta.

#### **6.4.11. Los efectos de la vegetación**

La utilización de contaminantes químicos sobre vegetación implica el que este se deposite en la misma en parte, con lo que facilitara en general su evaporación disminuyendo la persistencia global pero aumentando aquella parte de la que llegue al suelo, ya que esta vegetación aminora los efectos atmosféricos sobre la evaporación. Por lo tanto factores importantes a considerar en la vegetación son su espesura, el poder de retención de los agentes agresivos (propiedades morfológicas de las plantas, anchura de hojas, texturas,, etc.), su altura (época del año y zona) y otros propios. La vegetación aumenta el riesgo de contaminación por contacto de todo el personal o materiales que transiten por esa zona.



*El personal combatiente se mimetiza con el terreno.*

#### **6.4.12. La medición de los parámetros atmosféricos**

Para la medición de los parámetros atmosféricos de interés en la Defensa NBQ, se utilizan estaciones meteorológicas de campaña o los datos provenientes de centros meteorológicos fijos existentes en una red a nivel del estado.

Las estaciones de campaña pueden ser manuales, semi-automáticas o automáticas, en cualquiera de los casos, miden datos tales como las temperaturas del aire a diferentes alturas y del suelo, pluviometría, humedades del aire, velocidades y direcciones del viento, Con todos los datos obtenidos y procesados mediante tablas o sistemas microprocesados, junto con otra serie de informaciones tales como las orográficas etc., se podrán aplicar los modelos físico-matemáticos, que estableciendo los modelos fuente y de dispersión, hagan las estimaciones adecuadas de concentraciones de contaminantes en el espacio y el tiempo.

Dada la multiplicidad en ocasiones de los focos de emisión de los contaminantes y

en otros casos de los diferentes puestos de observación, se obtendrán una serie de valores que adecuadamente utilizados, harán que la aplicación del modelo de predicción sea lo más correcta posible.

En general cualquiera de las estaciones de medida mencionadas, estarán conectadas a los centros de cálculo y decisión mediante sistemas adecuados del transporte de la información, que deberán asegurar la confidencialidad, velocidad y bondad de su transmisión de datos., a la vez de que sean capaces de almacenar toda la información gestionada para posteriores análisis o estimaciones in-situ.

#### **6.4.13. La dispersión en medios urbanos**

Cuando los agentes contaminantes se dispersan en las poblaciones, fundamentalmente si la emisión es elevada y proviene del exterior de esta, se difundirá siguiendo su trayectoria original en general, pero sufriendo desviaciones locales atribuibles a las turbulencias efectuadas por los edificios elevados, a las microcorrientes de aire generadas por las grandes vías y su circulación rodada, a la propia contaminación urbana y su efecto invernadero, otros focos de calor locales, etc. Si la emisión es a nivel del suelo, la contaminación se difundirá principalmente en la dirección del tiro forzado de aire en esa ubicación, este tiro, suele variar cuando se propasa la altura dominante de los edificios que configuran ese trayecto. En cualquier caso la contaminación depositada en superficies accesibles hace especialmente peligrosa para personas o materiales que se desplacen o permanezcan en ella, por otro lado la persistencia de la contaminación variará de manera importante cuando esta se deposite sobre la propia vía, ya que el arrastre por rodadura de los vehículos la irá eliminando y dispersando y en general al tratarse de superficies lisas, poco absorbentes y sometidas a apreciables temperaturas, facilitará su evaporación.

La contaminación pasará a las redes de pluviales y otros orificios y canalizaciones existentes en el suelo, de manera que esta contaminación se dispersará por el medio urbano y sus vías de eliminación de residuos líquidos-sólidos. En este caso habrá que considerar el problema adicional de la posible reutilización para otros usos de esos residuos una vez tratados. Posiblemente en el ciclo de movimiento de la contaminación, las vías y los procesos que sufra esta acelerarán en muchos casos su inertización.

Para las emisiones en recintos cerrados que sean posibles objetivos del terrorismo urbano tales como edificios públicos, grandes superficies comerciales, redes de metro, estaciones, aeropuertos, etc., habrá que considerar como elemento principal de vector de dispersión las corrientes generadas por los equipos centralizados de climatización, teniendo que optar por mantener en algún caso obligatoriamente los funcionamientos de los mismos, pese a dispersar la contaminación o detenerlos para evitar esta dispersión, en cuyo caso se estará manteniendo cuasi intacta la concentración del agresivo en el local. A posteriori se podrá seguir la contaminación y los afectados estudiando la trayectoria del aire forzado, analizando con especial cuidado los sistemas de filtrado y otros equipos de la red que faciliten la deposición en los mismos de ese tipo de contaminación.

El terrorista urbano, al igual que el combatiente se mimetiza para confundirse con el terreno donde se esconde, el urbano se disfraza de ciudadano normal para no levantar sospechas, incluso adopta formas que despierten más confianza, uniformes, discapacidades, hábitos religiosos o similares, carros de compra o de bebe, maletines, amplios atuendos donde portan su mortífera maquinaria, etc. Han estudiado minuciosamente la zona y las costumbres donde va ha actuar para proceder con la mayor impunidad. En la mayoría de ocasiones han fotografiado o levantado croquis de espacios, sistemas de ventilación, señalizaciones, videovigilancia, sistemas de comunicación y alarma, lugares de donde tienen que provenir las ayudas exteriores, toda la información necesaria para que la planificación de la actividad que pretende contemple todos los posibles escenarios y en cualquier caso alcance su objetivo final la destrucción, la muerte y el terror a la carta.

Para que la utilización de este tipo de materiales sea " rentable " desde el punto de vista de desestabilización, el objetivo perseguido involucrara a muchos afectados o zonas especialmente estratégicas, por lo que no resulta probable su utilización en pequeños recintos tales como transportes urbanos, etc.

Cuando se emitan agresivos químicos en recintos cerrados, además de todo lo considerado, podrá darse la circunstancia de que el producto active los sistemas contra incendios en cuyo caso se dispararían los rociadores, se clausurarían las compuertas contraincendios y se cortaría el sistema de climatización. Todas estas circunstancias hacen de difícil predicción cual sería el comportamiento del agresivo en ese conjunto de condiciones y por lo tanto las consecuencias en las personas.

En esta situación la entrada en funcionamiento de las alarmas ambientales conllevarían además el típico pánico del personal existente en la zona y el desconcierto inicial de los equipos de seguridad local que no evidenciarían el foco de fuego, pudiendo incluso tomar la situación como una falsa alarma.

#### **6.4.14. La información meteorológica suministrada al simulador**

Los datos meteorológicos requeridos por el sistema de simulación (descrito en el capítulo de material y métodos), son los suministrados por una estación meteorológica situada en el casco urbano de Valencia y que son publicados y actualizados constantemente en la web <http://www.meteovalencia.net/> .

El modelo (DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS<sup>®</sup>) usado ofrece la posibilidad de conectarse mediante puerto serie a un ordenador o un datalogger para almacenar los datos que vaya registrando. El paso de los datos de la estación al ordenador se hace mediante un programa informático que almacenara en un fichero cada cinco minutos todos los parámetros que mide.

Los componentes de la estación son:

-La Consola: recoge los datos de los sensores, los muestra y los pasa al ordenador.



- El termohigrómetro exterior, en una garita Davis). Recoge los datos de temperatura y humedad relativa del aire.
- La veleta-anemómetro. Toma la velocidad y dirección del viento.
- Los captadores solares: estos tres aparatos están conectados al termohigrómetro, a la veleta-anemómetro y al pluviómetro. Aparte de proveerlos de energía, transmiten la información a la consola.
- El termohigrómetro interior y barómetro. Mide la temperatura y humedad interior, así como la presión atmosférica.
- El pluviómetro. Recoge los datos de precipitación. Está sujeto con dos abrazaderas y un ángulo.

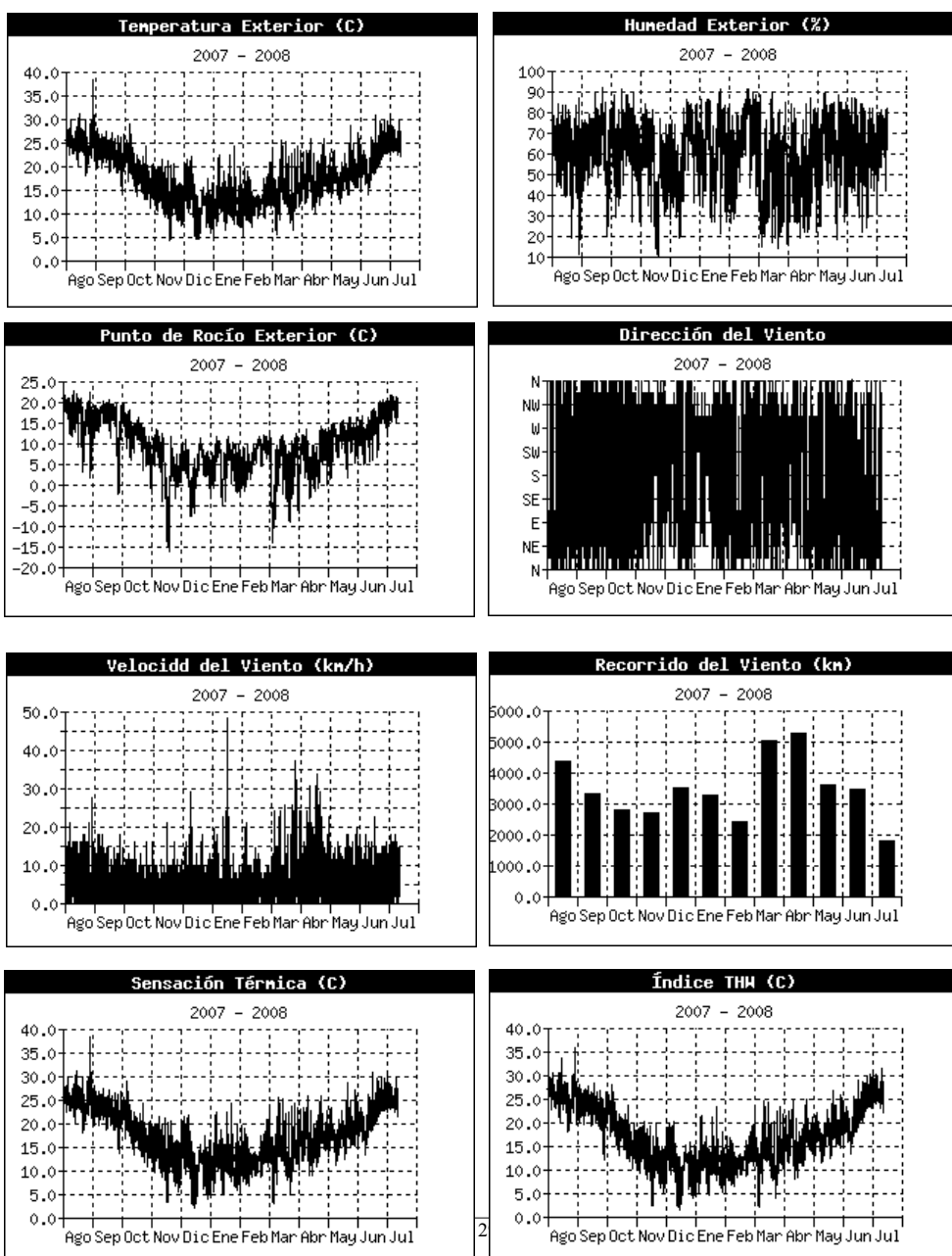
La estación esta instalada en la azotea de un edificio alto del área metropolitana en nuestro caso de Valencia. (Zona de Blasco Ibañez), la altitud de la estación es de 35 metros sobre el nivel del mar y su posición de 39°28'34"N, 0°21'47"W. La instalación de la estación asegura la circulación libre del aire libremente de todas las direcciones y la ausencia de obstáculos, reflexiones y zonas de acumulaciones térmicas.

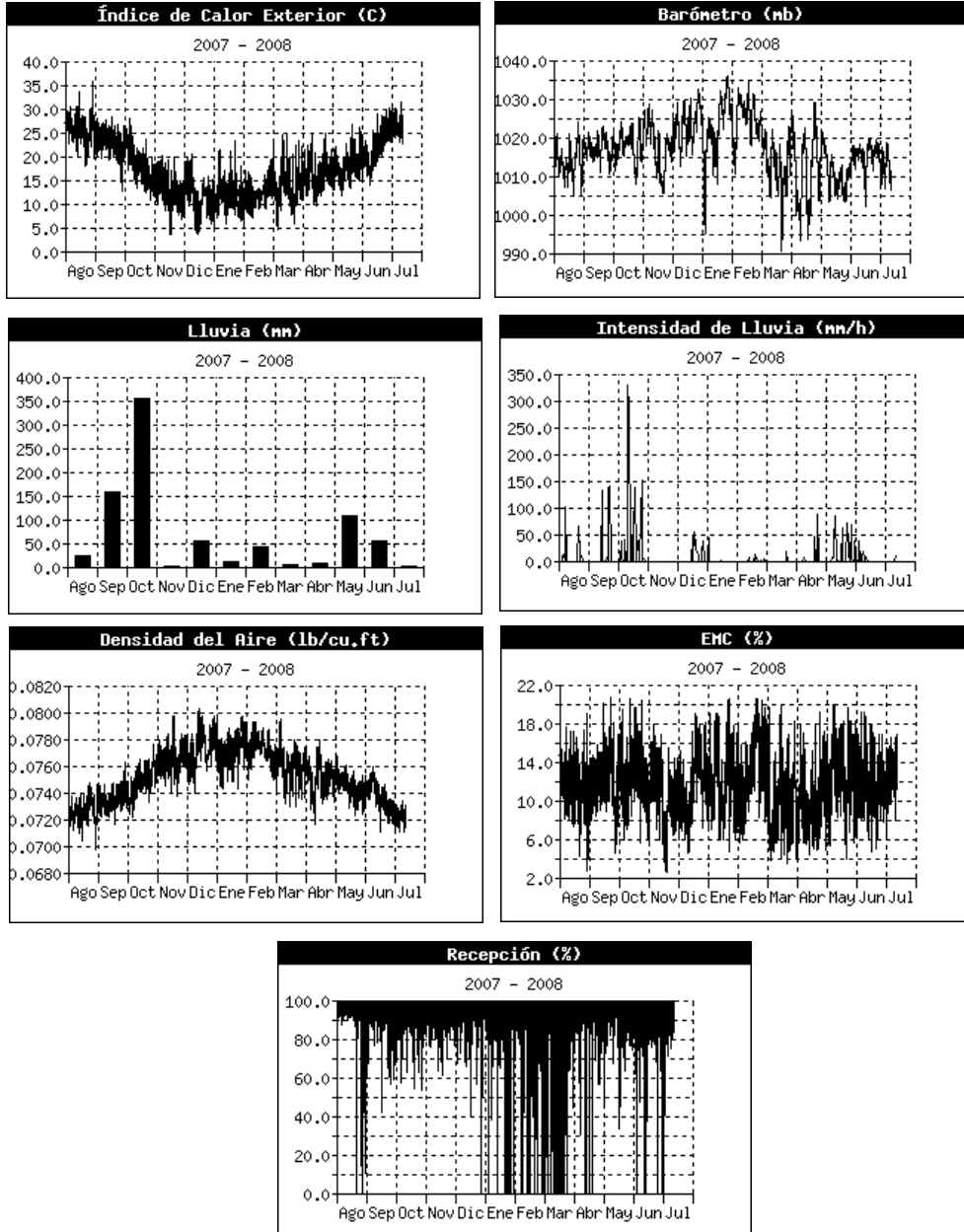
Los datos meteorológicos usados en la simulación son los valores promedio de la evolución meteorológica en esa zona de Valencia, a lo largo del último año. ( hasta el 12/07/08, 23:58 h.) y se corresponden con una velocidad promedio del viento de 1m/s a la altura descrita (brisa ligera en la escala de Beaufort), una dirección de viento dominante de 270°, todo ello insistimos a la altura de referencia. La simulación se plantea en un día soleado del mes de marzo aproximadamente a media mañana, para buscar el objetivo terrorista de una parte importante de ciudadanos en esa zona comercial/administrativa/financiera y al descubierto, por lo que las condiciones ambientales según el modelo usado por el Hotspot serían las correspondientes a una clase de estabilidad A (sun high in the sky/muy inestable).

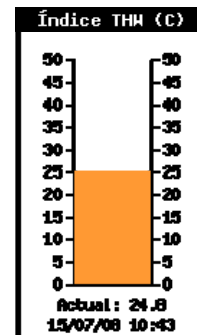
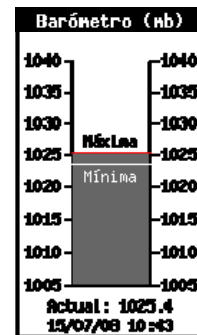
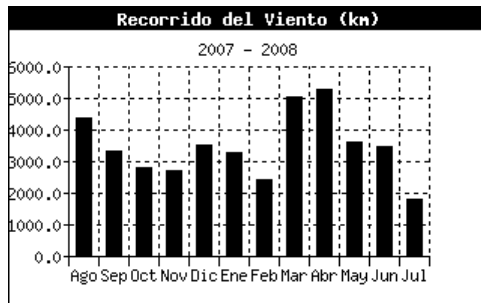
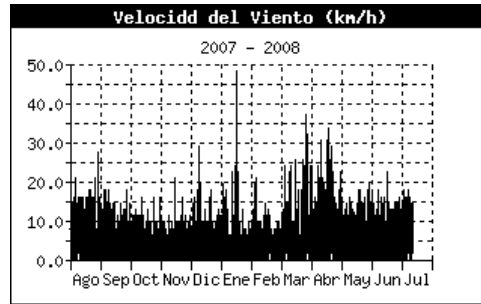
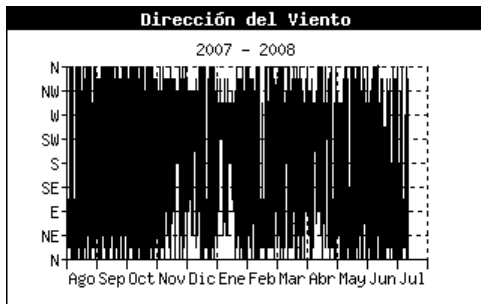
Por otro lado este simulador advierte que la dispersión mas desfavorable sucederá en emisiones a nivel del suelo con la categoría de estabilidad F (que es la escogida en el escenario mas probable de simulación,  $\sigma\theta$  2.5 grados), siempre y cuando la velocidad de deposición de las partículas sea cero o menor que 0,1 cm/s, el simulador por defecto cuando utilizamos el modelo de explosión para Co60 utiliza como velocidad de deposición 0,3 cm/s, por lo que el cálculo de dispersión mas desfavorable podría suceder con otras clases de estabilidad distinta de la F, razón por la que se han realizado un escenario con categoría de estabilidad A (muy inestable) y se ha podido comprobar que si bien las superficies contaminadas aumentan, las concentraciones de contaminación disminuyen por lo que las dosis de la población expuesta resultan menores, motivo por el que mantiene como escenario mas conservador y mas probable el desarrollado con categoría F.

El simulador cuando realiza los cálculo con la opción de terreno tipo ciudad, hace estimaciones de concentraciones mas bajas que si lo aplica en terreno campo (standard, seguido en el presente trabajo), ya que en el primer caso tiene en cuenta los aumentos en la dispersión debidos a las grandes estructuras de edificios y las retenciones de calor en materiales tales como el asfalto.

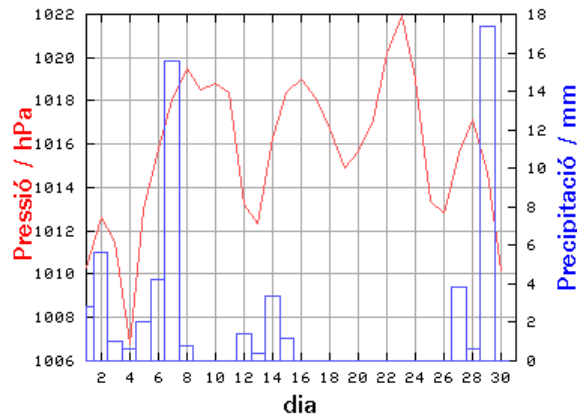
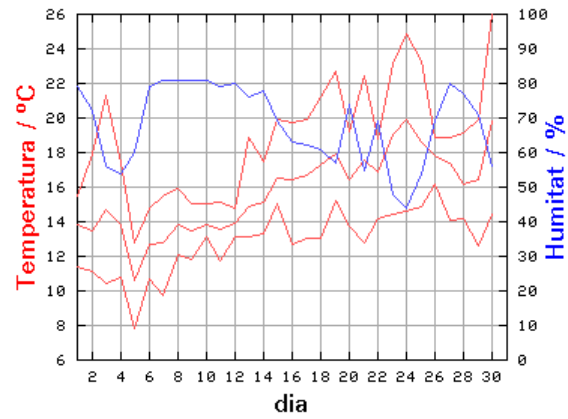
Para la simulación el término fuente lo situamos sobre el suelo (realmente esta sobre un vehículo que la apantalla) y la velocidad del viento la damos a 10 m. de altura, suponiendo que es similar a la medida a 35 m.

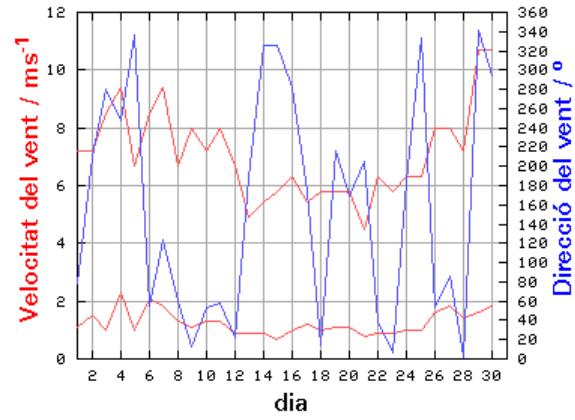




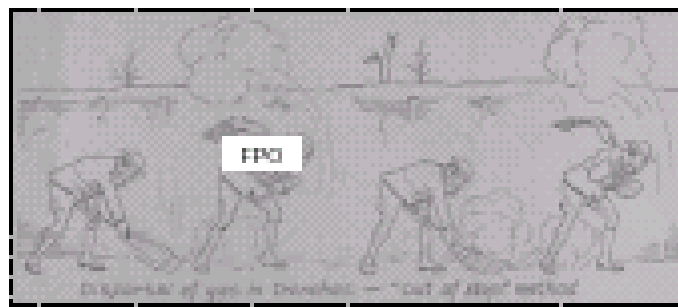


Resultados gráficos del muestreo en la estación en ese período:





## ANEXO V: CONTROL Y DELIMITACIÓN DE ZONAS CONTAMINADAS



Grabado de un manual de campaña NBQ, descontaminación del terreno.

### 6.5.1. Aspectos generales

Para poder establecer una protección adecuada de las personas y bienes frente a la contaminación química será necesario conocer entre otros datos la identificación del o de los agresivos, su concentración, su distribución topográfica, la evolución espacial de la contaminación, las características de la población a proteger, etc (Chang,M, 1984). Toda esta información es la que se desea extraer con rapidez y exactitud (términos a veces contradictorios) por análisis del evento por parte de un equipo de observación desplazado al lugar. Desde el punto de vista militar los objetivos perseguidos, además de los anteriores respecto de la protección de sus contingentes, perseguirán la localización de objetivos, la transmisión de información de manera confidencial siempre y la detección de pasos "seguros" para los desplazamientos de las tropas propias, entre otros objetivos, todo ello dentro de la máxima rapidez, sigilo y seguridad del propio equipo de reconocimiento.

### 6.5.2. Plan de monitorización

Previamente al control de la zona que posiblemente este contaminada, es conveniente establecer un plan de monitorización (detección e identificación) que contemple como aspectos más destacados los siguientes (Chang et alt, 1986):

- La protección y monitorización del propio equipo de intervención.
- Establecimiento de los núcleos especiales a proteger.
- Establecimiento de las rutas, distribución y cadencia de las medidas y que tipo de estas se realizaran.
- Utilizar un informe normalizado, en el que se recopile la información como situación del observador, fecha y hora de la medida, tipo de agresivo y medio de dispersión, descripción del terreno y vegetación, medidas en el punto del o los agresivos,

persistencia estimada de los mismos, dirección y velocidad del viento, parámetros atmosféricos, etc..

-Utilizar un protocolo preestablecido de transmisión de información.

-Establecimiento de un primer plan de actuaciones en el lugar en función de las medidas.

-Atender de manera especial las medidas en los lugares más propicios para el establecimiento de la contaminación tales como, depresiones del terreno, refugios, valles, así como el control en la dirección del viento, etc.

-Centros de descontaminación de asistencia sanitaria y otro apoyo logístico .sobre el terreno automantenidos.



*Instalaciones móviles para descontaminación, asistencia sanitaria y apoyo técnico en la zona de seguridad.*



### 6.5.3. Rutas de monitorización

Las modalidades comúnmente utilizadas para monitorización de zonas con posibilidad de contaminación son las del **seguimiento de Rutas** (NATO, 1994) cuando se trata de controlar la contaminación en vías claves para acceso, progreso o evacuaciones de contingentes humanos, en este caso se hacen medidas por parte del equipo de control cada 100 mts. si los valores son negativos y con mayor cadencia si existen indicios de contaminación, las medidas se realizan en el trayecto de ida y de vuelta en cuyo caso y si han sido positivas, se realiza un estudio más pormenorizado, **Reconocimiento de zonas**, se trataría de una vez seleccionada un área de terreno (rural o urbano) bien delimitada , estudiar bien las rutas interiores así como aquellos puntos de especial significación por su trascendencia desde el punto de vista de la protección de personas, lugares estratégicos de albergue, tratamiento o evacuación, depósitos de avituallamientos o aguas, etc. . Puesto que en este caso la realización del trabajo es más laboriosa, la disponibilidad de efectivos materiales y humanos y la urgencia requerida, configurarían la programación de las medidas a efectuar. Los equipos de reconocimiento deben de buscar las zonas de mayor contaminación para evitarlas posteriormente el resto del personal, por lo tanto corren un riesgo superior pero controlado habida cuenta su especialización, predisposición y equipamiento. Si el equipo de reconocimiento circula en vehículos, habrán sido previamente adiestrados en su conducción con los equipos de protección puestos, si se circula en varios vehículos, se deberá de evitar la exposición a la nube de polvo o salpicaduras del precedente así como al personal de a pie que deambule en las proximidades

### 6.5.4. Equipo de monitorización

Como equipo básico en Defensa Civil de este tipo de reconocimientos, sería aconsejable los siguientes medios:

Medios humanos: Un titulado medio como responsable del equipo, un técnico FP o similar de adjunto al responsable, dos técnicos para mediciones y un conductor-radiotransmisor. Todo este personal y según el grado de responsabilidad en el equipo deberá de poseer conocimientos teórico-prácticos de actuaciones NBQ. y a ser posible polivalencia en sus funciones.

Medios materiales: Trajes de protección y equipos personales NBQ. en número suficiente para el personal del equipo y alguno más por si se requiriera para alguna emergencia, radiotransmisor o equipos de telefonía digital-móvil (según cobertura), en número y con autonomía suficiente para la misión, la diversificación y duplicación de sistemas y equipos garantizarán la operatividad, sistemas de detección e identificación de agresivos químicos manuales y automáticos, documentación básica, botiquín sanitario incluyendo medios específicos como son los autoinyectables de atropina (para contrarrestar los efectos neurotóxicos con efecto inmediato ) y los comprimidos de oximas de efecto preventivo y larga duración., víveres estancos para la duración de la misión, combustible para el vehículo, sistemas autónomos y recargables de iluminación y alimentación eléctrica, sistema automático de cálculo-archivo-transmisión de

información, equipos de balizamiento y señalización en cantidad suficiente para los objetivos y extensión del trabajo, equipo de descontaminación básico, contenedores de residuos controlados, sistema de megafonía móvil y si la extensión de la misión lo requiere un vehículo todo terreno polivalente con características NBQ-OTAN, que atenderá a su autonomía, estanqueidad y en ocasiones sistemas de medidas-protección de ocupantes y facilidad de descontaminación, alimentos y líquidos en recipientes adecuados y cantidad suficiente para el personal y la duración estimada de la misión.



*Unidades móviles de detección de contaminación NBQ.*

#### **6.5.5. Delimitación y señalización de zonas contaminadas**

Una vez se ha comprobado la existencia de contaminación en un determinado lugar, hay que señalar esta para evitar el acceso o la salida incontrolada y por lo tanto la contaminación de nuevas personas o materiales, la delimitación de la zona se hará dejando una zona libre de contaminación como franja de seguridad, se establecerán zonas controladas de acceso y salida, donde se situaran los equipos de detección y descontaminación así como en su caso los de asistencia sanitaria, otros equipos de emergencias y de seguridad. Toda persona o equipo que salga de la zona se incluirá en un registro y se le identificara como libre de contaminación cuando haya superado el oportuno control o se le someterá a aislamiento-seguimiento posterior según el resultado, al personal o equipos que acceda a la zona controlada, también se le identificara, incluirá en el registro y se le aleccionara sobre las medidas de seguridad que deberá observar (NBC Protection, Department of the Army, 1996).

La delimitación de zonas se hará de manera que todo el perímetro contemplado, que incluye la distancia máxima estimada de propagación y actuación del agente detectado, quede claramente circunscrito por una cinta de señalización que sea fácilmente visible en cualquier condición de iluminación y otras inclemencias climatológicas, además de que soporte la intemperie. Esta cinta se enclavará al terreno o sus accidentes de manera que quede sólidamente fijada y sin posibilidades de variaciones geométricas significativas. La señalización incluirá letreros que distribuidos a distancias no muy grandes alerten del riesgo, especificando el punto de medida, el agresivo, las medidas de concentración, la fecha y hora, la duración estimada del riesgo y en ocasiones será aconsejable en defensa civil incluir en esa información la institución y un número de

contacto. La misma autoridad que delimita la zona, deberá de controlar la no penetración por lugares indeseados de ese perímetro, la permanencia de la señalización durante el tiempo requerido y su eliminación paulatina según se estime.

La señalización militar habitual es un triángulo rectángulo de unos 20x20x28 cms. con la inscripción de "GAS" en rojo y sobre fondo amarillo. en ocasiones y con fines de hostigamiento al enemigo, puede procederse a dejar sobre el terreno y previo aviso a las unidades combatientes propias de la zona, señalizaciones falsas que psicológicamente retraigan su moral o le obligue a detener su avance en espera de comprobaciones o dotaciones de materiales de protección incluso en ocasiones para dirigir su avance por rutas deseadas para su mejor aniquilación. Por todo ello resulta básico desde el punto de vista estratégico el realizar mediante equipos especializados reconocimientos previos del terreno por el que avanzarán (rutas básicas y alternativas) el grueso del contingente.



*Unidad móvil blindada-estanca especial para detección NBQ en zonas contaminadas.*

#### **6.5.6. Descontaminación Química**

La descontaminación se basa en:

- la destrucción de los agentes químicos mediante su transformación en otros elementos lo mas inocuos posible.
- la eliminación de los agentes químicos mediante técnicas de absorción, lavado o evaporación.
- Establecer una protección que evite los efectos adversos de la zona contaminada.

Existen productos que atacan a los agresivos químicos en general, pero que por su poder corrosivo no pueden utilizarse para descontaminación de la piel o elementos sensibles. Para descontaminación de personal se suelen utilizar soluciones de cloraminas que son efectivas para agentes V y Mostazas, pero no es efectiva para agentes G (Sarin, Soman, Tabun), para estos se suele usar una solución acuosa de sosa, siempre y cuando

no se mezcle con agentes V ya que pueden producirse productos finales mas tóxicos incluso que los originales.

Mediante la descontaminación de lo que se trata es de disminuir o eliminar los agresivos químicos que están en forma líquida o de aerosoles impregnando superficies y que pueden afectar de manera directa o indirecta y de forma negativa a la salud de las personas, sus funciones y sus bienes. Un límite estimado como umbral para considerar descontaminado algo, cuando se trata de grandes cantidades de afectados, es aquella concentración que produce una incapacidad media del 5% en los individuos expuestos, dado que este nivel de referencia es el utilizado en terminología militar, se supone aplicado a individuos sanos, adultos, mayoritariamente varones y bien abastecidos y atendidos sanitariamente. Para Defensa Civil es recomendable extender la descontaminación hasta conseguir la máxima garantía de su eliminación definitiva y por lo tanto el retorno al uso normal del medio contaminado, en situaciones extremas puede que la viabilidad técnica y/o económica del proceso lo haga de muy difícil resolución, por lo que en estos casos habrá que realizar un estudio "costo/beneficio" para conseguir el resultado "óptimo" , en cualquier caso y como solución transitoria puede plantearse las descontaminaciones parciales en espera de la definitiva, de manera que se disminuya el riesgo del personal y de la manipulación de objetos necesarios, se facilite la estancia y movimientos por zonas contaminadas, se evite la propagación de la propia contaminación y se acelere la actuación de los procesos descontaminantes naturales.

En ocasiones la contaminación se puede prevenir o minorar sus efectos, la utilización de materiales que cubran los elementos a proteger, las características de los propios materiales y su diseño, pueden favorecer su descontaminación o minimizarla, el uso de materiales estancos, lisos, no porosos, sin hendiduras ni similares, servirá para conseguir el objetivo descrito.

#### **6.5.7. Normas generales para la descontaminación**

Las normas generales a tener en cuenta a la hora de planificar una descontaminación serían el considerar que este tipo de agresivos suele penetrar a través de casi todos los materiales por lo que interesa efectuar de manera rápida la descontaminación antes de su mayor penetración pues esta además del mayor riesgo que conlleva, disminuirá el rendimiento de la misma, en general esta es una operación larga, compleja y costosa por lo que es más viable protegerse de ella antes que eliminarla. La descontaminación no debe de suponer un aumento del riesgo de los afectados ni del personal ni el entorno en el que se realiza y previa a su realización habrá que identificar los agentes contaminantes, establecer las prioridades de actuación, elegir el material y la zona a utilizar (acondicionarla), proveer de medios de protección al personal interviniente y establecer una zona segura (frente a nuevo ataques o dispersiones de la contaminación residual) y abastecida para hacer un seguimiento y tratamiento de choque del personal y material afectado, cuando se trata de zonas militares su ocultación y separación de la línea de fuego será imprescindible.



*Unidad móvil de defensa civil NBQ, detección y descontaminación.*

La descontaminación en general requerirá el uso de gran cantidad de agua, que no necesariamente deberá de ser potable, así como generara una gran cantidad de residuos que deberán de controlarse adecuadamente, señalizándolos, almacenándolos de forma controlada y posteriormente transportándolos para su destino definitivo. Especial consideración se efectuarán a los vertidos líquidos que tras su eliminación y a través de fenómenos de transporte pueden llegar activos a ríos, embalses o pozos de las aguas utilizadas posteriormente para riegos o abastecimientos. La insolación y vientos, puede favorecer la formación y dispersión de vapores o aerosoles con restos de contaminación, las bajas temperaturas favorecerán la persistencia y las lluvias y nieves el arrastre de la contaminación, razón por la cual los productos de la descontaminación se controlarán adecuadamente a la vez que se producen para evitar estos riesgos asociados. Dentro de la zona de trabajos se distinguirá y controlara sus accesos entre la zona libre de contaminación (zona fría) y la que contiene elementos contaminados de la índole que sean (zona caliente).

El apoyo logístico a las operaciones de descontaminación preverá entre otras la cobertura de servicios adecuada a la extensión, tipo y duración de las operaciones

Dentro de la descontaminación habrá que distinguir la de urgencia de la diferida, la primera es la que se realiza de manera inmediata cuando se detecta la contaminación y puede realizarse por el propio contaminado sobre sí mismo y su equipo, si este le es imprescindible. Esta descontaminación puede realizarse por arrastre e impregnación de una manopla o bayeta preparada a los efectos, en el equipo del personal interviniente, esta operación se realizará siguiendo un procedimiento que evite la diseminación sobre superficies limpias o el medio. El líquido que impregna esa manopla, evitará por fijación la producción de aerosoles y tenderá a neutralizar químicamente al agresivo. Tras la descontaminación de urgencia se plantea si es necesario otro tipo de descontaminación posterior, esta se deberá realizar por personal especializado y dotado de material ex proceso.



*Ducha colectiva para descontaminación exterior, el primer paso.*

En general todos los agentes químicos son más o menos volátiles, con el viento aumenta su evaporación y la lluvia y el rocío los hidrolizan. La luz solar puede hacerles variar su naturaleza y en general los procesos naturales destruyen a la larga estos agentes químicos.

#### **6.5.8. Métodos de descontaminación**

Como métodos generales de descontaminación, se pueden utilizar los lavados convencionales y a presión, secado y venteo, absorción, eliminación por agua caliente con o sin detergentes, utilización de disolventes orgánicos tales como combustibles o parafinas, en cualquier caso hay que tener muy en cuenta el tratamiento de la contaminación residual adherida al objeto y el tratamiento de los residuos producidos en las operaciones de descontaminación. La descontaminación del terreno si este no es muy grande, puede realizarse por eliminación de la capa superficial o por adición a la misma de elementos como el cloruro de cal que ataca los agresivos, si la descontaminación no es posible y si la zona hay que seguir utilizándola, se puede tapar la superficie mediante plásticos o tierra.

Cuando se trata de descontaminación de personas, en cuanto se tenga la sospecha de que se ha podido producir, hay que proceder a la limpieza con agua y jabón, polvos de talco, o descontaminantes adecuados, a la vez que se le despoja de todas las prendas de vestir, este tiempo de respuesta es básico para minimizar los efectos de la contaminación.



*Ducha portátil de alta presión para descontaminación exterior, observar la dispersión lateral*

Como descontaminantes personales se puede utilizar el creosolato de sodio en solución alcohólica para agentes nerviosos, cloraminas en solución alcohólica para agentes mostaza, o resinas en polvo absorbentes y descomponedoras de los agentes químicos. El uso de permanganato potásico suele dar buenos resultados para la descontaminación de la piel y la penetración en la misma. Existen cremas a base de polietilenglicol que sirven para preservar de la contaminación cutánea y para profilaxis de la misma.

El calor y las emisiones de vapores a altas temperaturas son sistemas de eliminación de la contaminación para equipos y vehículos, en ocasiones al flujo de aire caliente se le añaden sustancias (hipoclorito de calcio-tetracloroetileno-emulsionante) que penetran en el cuerpo contaminado para neutralizar esta.



*Descontaminación sobre "sobre la marcha" de un carro blindado, sometiéndolo a un chorro de fluido descontaminante.*



Descontaminación de vehículos, mediante lavado a presión efectuado por un operador protegido, la zona es limpia de contaminación pero el operador puede verse afectado por la desprendida del vehículo.

### 6.5.9. Descontaminantes químicos

La descontaminación química se basa en provocar reacciones con el agente que lo neutralicen, las reacciones más frecuentes son la de oxidación, reducción, cloración e hidrólisis. Los descontaminantes químicos son compuestos orgánicos o inorgánicos que suelen contener cloro que actúa como un potente oxidante o como agente de cloración. Los inorgánicos suelen actuar por oxidación y se utilizan a gran escala, los descontaminantes orgánicos incluyen cloramidas y similares, cuando existe humedad

decontaminan por oxidación y en ausencia de esta lo hacen por cloración, suelen estar disueltos en disolventes orgánicos como tetracloruro de carbono o acetileno, suelen utilizarse solo en descontaminación a pequeña escala (personal o de equipos).



*Sistemas de contenedores para equipos móviles de asistencia sanitaria y apoyo logístico en las zonas de intervención.*

## **6.5.10. Productos descontaminantes químicos**

### **6.5.10.1.1. Cloruro de cal industrial**

El conocido como agente STB (Super Tropical Bleach) se utiliza también para la descontaminación biológica, se presenta en forma de polvo blanco conteniendo un 30% de cloro. Es eficaz utilizado en contra de los agentes H, G y V, pero hay que tener en cuenta que los productos de su reacción con el Tabun (GA) son tóxicos. De la misma forma hay que tener especiales precauciones cuando se decontamine con este producto Iperita, pues puede originarse reacciones violentas. Cuando se mezcla este producto con agua se forma una "lechada" que en partes iguales de peso sirve para aplicación manual (cepillos, etc.) o al 40% de cloruro de cal y resto de agua se puede utilizar en equipos de descontaminación mecánica.

El cloruro de cal mezclado con tierra, arena o cenizas, puede esparcirse sobre el terreno para su descontaminación en grandes superficies.





*Simulación de monitorización de contaminación personal.*

#### **6.5.10.1.2. Solución de DANC**

Se trata de una solución al 6,25% del compuesto denominado como RH-195 (1,3 dicloro-5,5, dimetilhantoina) en tetracloruro de acetileno, este disolvente orgánico es el más tóxico de los clorados conocidos, por lo que debe de manejarse con equipo de protección personal (máscara facial, guantes, etc.), esta solución es un descontaminante rápido para agentes H y V salvo que estos estén absorbidos por superficies porosas, sin embargo no es muy útil contra la Iperita a bajas temperaturas ( $-7^{\circ}\text{C}$ ) ni tampoco con los agentes G. Esta solución se aplica de manera reiterada frotando y después se arrastra con agua jabonosa, a ser posible templada. Por la peligrosidad de los productos que componen la solución de DANC y la corrosividad de su mezcla, es aconsejable que los componentes se almacenen por separado y de manera controlada hasta el momento de su uso que será supervisado por personal especializado.

#### **Agente descontaminante DS2**

Este agente es un compuesto de 70% de material activo (dietilentriamina), 28% de disolvente (etilen glicol monometil eter) y un 2% de catalizador activo (hidróxido sódico). El DS2 suele utilizarse contra el gas Sarin (GB) y de la Iperita (HD), aunque es efectivo contra todos lo agentes químicos incluidos los V. Su aplicación se acompaña de lavados posteriores con agua de la superficie descontaminada. Este producto es irritante para la piel y en caso de contacto con esta, se procederá de inmediato a la limpieza con agua abundante, sus vapores no deben de ser inhalados, por lo que aplicara en lugares ventilados, a sotavento y a ser posible con mascara facial. Este producto no suele ser corrosivo para los metales.

#### **6.5.10.1.3. Alcalis**

En general todos los álcalis son descontaminantes efectivos para los agresivos neurotóxicos, sin embargo no son efectivos para la Lewisita (L) porque esta se hidroliza muy rápidamente en presencia de agua por lo que la presencia del álcali no tiene demasiada importancia.

#### **6.5.10.1.4. Hipoclorito sódico**

Su combinación con agresivos químicos libera ClOH reduciendo así la toxicidad del agresivo. Se suele utilizar de manera muy concentrada.

#### **6.5.10.1.5. Cloro**

Por su poco rendimiento como descontaminante no suele utilizarse mucho salvo disuelto con tetracloruro de carbono en cuyo caso se aplica a descontaminación de equipos

#### **6.5.10.1.6. Compuestos oxidantes**

En general estos compuestos reaccionan con la Iperita (HD) generando en el caso del peróxido sódico un óxido, en el del ácido hipocloroso un sulfóxido al igual que en el caso del hipoclorito sódico.

#### **6.5.10.1.7. Agua**

Por hidrólisis muchos de los agresivos químicos pueden descomponerse perdiendo de esta manera su poder. Sin embargo en otras ocasiones la hidrólisis puede generar productos tóxicos, razón esta por la que será muy importante saber contra que producto se está luchando para evaluar el método más idóneo y sus consecuencias. En cualquier caso la utilización de agua a presión y a ser posible caliente, hará disminuir la concentración superficial y en ocasiones en profundidad del agresivo, si se añaden detergentes al agua, aumentaremos su rendimiento en la descontaminación. En cualquier caso habrá que estudiar sus características en relación al medio a descontaminar, para evitar que su uso pueda deteriorar a ese medio o complicar la tarea por diseminaciones incontroladas tales como las salpicaduras.



*Sistema de rociado a presión portátil, para recontaminación de materiales y exterior de personas.*

#### **6.5.10.1.8. Vapor de agua**

Se puede utilizar para descontaminar la Iperita (HD), solo es útil para agentes químicos muy volátiles debido a que no contiene agua líquida y esta es necesaria para iniciara la hidrólisis de la Iperita, esta hidrólisis generara ácido clorhídrico que puede atacar a los tejidos y otros medios de protección personal.

#### **6.5.10.1.9. Combustión**

Para la eliminación de contaminación de grandes restos de desechos, puede provocarse la combustión de los mismos, que actuara por descomposición térmica y volatilización. Especial cuidado se deberá de tener con la propagación de los humos y partículas en suspensión resultantes, que propagarán la contaminación así como con los restos totales que deberán de confinarse como con algún contenido residual de contaminación.

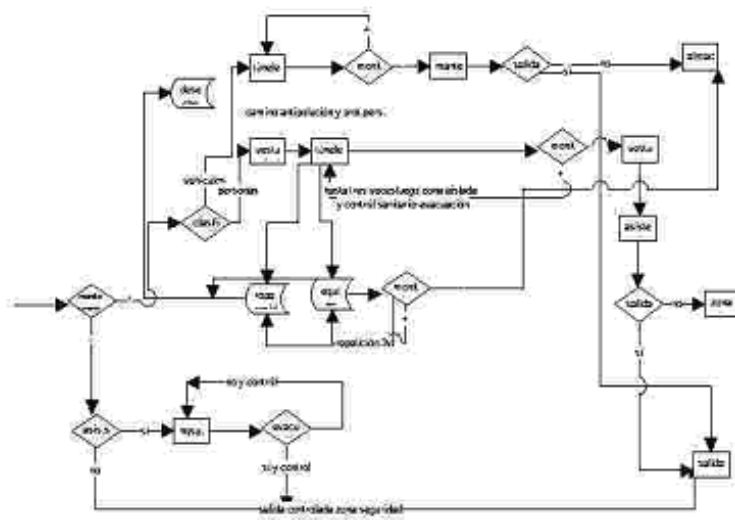
#### **6.5.10.1.10. Enterramientos**

Todos los despojos de materiales contaminados inservibles y residuos generados en las operaciones de descontaminación, pueden si su concentración y persistencia lo permiten y no existe otra alternativa mejor, ser enterrados de manera controlada, que incluirá su vigilancia y señalización hasta que no representen riesgos. El control abarcara los posibles fenómenos de transporte por lixiviación, movimientos de tierras, etc. La exhumación de restos humanos portadores de contaminación significativa (interna o externa), se realizará de manera controlada, atendiendo a las normas dictadas por la autoridad competente. Si debido a las circunstancias se tuviera que realizar de manera urgente y masiva una exhumación en una determinada zona, esta quedaría bajo control y señalización hasta su resolución definitiva, que conllevaría el enterramiento normal considerando la total eliminación de la contaminación o su reducción hasta un valor residual mínimo que garantizara la inocuidad para sus manipuladores y en su depósito definitivo en las condiciones de aislamiento habituales.

#### **6.5.11. Modelo de base de descontaminación de campaña**

A continuación de expone mediante un diagrama de flujo, cual sería una propuesta para la planificación de una Base para Descontaminación NBQ móvil (BDNBQM) que podría ser utilizada con propósitos civiles o militares.

**BASE MÓVIL DE DECONTAMINACIÓN Y APOYO INTEGRAL**



**NOTAS:** ubicar esta instalación zona libre de contaminación atendida a la dirección meteorológica y nuevos ataques desde de vigilancia y apoyo logístico sanitario equipos de limpieza agua potable y limpieza equipos de protección personal y control sanitario-evaluación mantenimiento equipos de vigilancia y comunicación zona de no véctores de contaminación y en la zona de trabajo de reparación y producción de agua potable

La planificación de la actividad en la BDNBQM contempla la prestación de sus funciones en cualquiera de las contaminaciones Nucleares-Biológicas-Químicas en escenarios militares o de desastres tecnológicos civiles o incluso actuaciones terroristas, por lo tanto su implantación puede ser el propio entorno urbano o el rural., en cualquier caso se proponen los siguientes requisitos de tipo general:

La BDNBQM se instalará próxima a la zona del conflicto pero en zona “limpia de contaminación”, para lo cual además habrá que controlar el que esta no llegue a la base por fenómenos de dispersión meteorológica.

La base estará en una zona protegida de manera que nuevos ataques no pongan en peligro su existencia ni la de los usuarios de la misma.

La base contara con vigilancia física y electrónica de sus instalaciones y su entorno inmediato.

La base contará con apoyo logístico y sanitario acorde con sus funciones.

La base contará con sistemas autónomos de iluminación, suministro energético (electricidad, carburantes...), comunicaciones e informática, limpieza de equipos, vehículos y personas adecuados, para lo que se le garantizará la existencia en cantidad suficiente de agua y otros elementos descontaminantes, a temperaturas incluso superiores a la ambiente.

La base contendrá sistemas de control de la contaminación que con motivo de su trabajo se produzca, sistemas de contención y recogida de residuos y sistemas que eviten la dispersión de contaminación.

La base tendrá todas las necesidades de confortabilidad de sus usuarios planificadas, comida, descanso, ropa, distracción, atención psico-sanitaria, control e inventarios de personas, equipos y actuaciones, transportes urgentes y programados, etc.

El funcionamiento de la BDNBQM contempla en su acceso la llegada de posibles personas y materiales portadores de contaminación sin determinar en su grado y tipo, por lo tanto su primer cometido es inventariar estas entradas mediante documentos efectuados a los efectos, en segundo lugar determinar la existencia o no de contaminación, su grado y localizaciones.

Seguidamente se separará todo aquello contaminado de lo que este libre de contaminación, estos últimos personas u objetos “limpios” se inventariaran, marcaran y pasaran al circuito de asistencia complementaria, que para personas será su asistencia psico-sanitaria, limpieza, avituallamiento (comida, ropa...), descanso y evacuación a zona controlada segura, en el caso de vehículos y equipos pasarían a mantenimiento, almacén y distribución controlada.

Para personas contaminadas se hará en primera instancia un control sanitario de urgencia, si es correcto, pasarían al circuito de descontaminación, donde se despojarían de ropas y objetos personales, la ropa se integraría en el sistema de gestión de residuos contaminados y los objetos personales pasaría a la sección de custodia-inventario y tratamiento de residuos hasta su limpieza total y reintegro a los propietarios o si esta descontaminación fuera inviable a su destrucción y eliminación como residuos.

El personal en el circuito de descontaminación se le identificara con elementos indelebles y se les sometería a monitorizaciones de cuerpo entero y selectivas para determinar el agente agresivo, su grado de contaminación y su localización, seguidamente se les sometería a descontaminaciones apropiadas y monitorizaciones sucesivas hasta conseguir su limpieza total o suficiente, el túnel garantizara una limpieza homogénea, confortable y que respete unos mínimos de la intimidad personal, así como la contención de los restos contaminados de la limpieza. Una vez finalizada esta etapa, se proveerá a las personas de ropa limpia se les volverá a identificar y se les pasaría al circuito de control sanitario profiláctico, avituallamiento, corta estancia y evacuación controlada.

El personal contaminado que precisara atención sanitaria urgente, se le pasara a la “zona de atención sanitaria sucia” donde el personal sanitario con las medidas contra contaminación personales, practicaría la asistencia de urgencia junto con las medidas de descontaminación personales practicables en esas condiciones. El afectado tratado, si se encuentra en condiciones pasaría a los circuitos de descontaminación y posteriores, si fuera precisa mas asistencia sanitaria, se le ingresaría en la zona de ingreso aislada donde se le prestaría la asistencia integral hasta su reposición y tratamiento en el protocolo general, en caso de su defunción, se certificaría la misma y se trataría el cadáver según su contaminación, si la asistencia sanitaria en la base resultase insuficiente, se procedería a su evacuación controlada a un centro sanitario de mayor especialización en condiciones de seguridad para todos.

El caso de niños, mujeres gestantes, recién nacidos, discapacitados, ancianos y otros posibles afectados en condiciones especiales, requerirán tratamientos específicos dentro de la misma base.

Cuando se proceda a la toma de datos de personas u objetos que entren en la base, hay que seleccionar la información que nos puede permitir reconstrucciones posteriores del escenario para hacer valoraciones mas precisas de todo el proceso, por ejemplo el lugar de procedencia, la hora, apreciaciones del suceso, etc.

Los materiales que accedan a la base para su recuperación, se inventariaran y se monitorizaran, si estuvieran limpios de contaminación, como se procederá como se ha descrito al principio, si estuvieran afectados de contaminación, habría que hacer una primera estimación de la rentabilidad de su posible descontaminación, si fuera aconsejable, pasarían al circuito de monitorización-descontaminación-monitorización, hasta su limpieza suficiente, después a mantenimiento, hay que considerar que muchos productos descontaminantes son agresivos y luego hay que repintar, engrasar..... y finalmente al almacén y reexpedición controlada. En el caso de vehículos, posteriormente se detallaran más aspectos sobre el tratamiento específico de su contaminación.

La BDNBQM si tiene propósitos militares, además de estar en zona segura contra ataques, deberá estar camuflada para evitar su avistamiento por tierra o aire, sus emisiones radioeléctricas de comunicaciones serán encriptadas para evitar la interceptación de información estratégica y se desplazará para evitar su fácil localización. Cuando la base es de uso en Defensa Civil, se le dotara de controles de accesos y perimetrales por sistemas activos y pasivos, para evitar el tráfico incontrolado de personas-objetos y par evitar ataques terroristas, en este caso la base y sus accesos se señalizaran de manera ostensible incluso de noche.

## ANEXO VI: REFUGIOS NUCLEARES-BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS

### 6.6.1. Consideraciones generales sobre Refugios NBQ

Cuando hablamos de refugios NBQ se considera aquella gama que es capaz de brindar protección adecuada para los efectos derivados de cualquiera de estas agresiones (“Fallout Shelter Design Collection”, 1985). Para los refugios nucleares se busca la protección de la radiación denominada como el “Fall Out” que es la producida por la contaminación radiactiva dispersada y depositada en el medio y la protección frente al denominado como “Blast” (explosión) que es los efectos mecánicos de la onda de choque producida por la explosión nuclear (sobrepresión-depresión), la onda sísmica producida en explosiones terrestres y además determinada protección frente a la radiación térmica y el denominado pulso electromagnético. La protección frente al riesgo químico y biológico, será la prevención de que estos agentes dispersados en el medio, lleguen a introducirse en el interior del recinto protegido, esto básicamente se obtendrá por medidas higiénicas y de seguridad de los usuarios del refugio, con el sellado de instalaciones y mediante el filtrado adecuado del aire que alimenta su interior.

Las ondas de presión que superan los 3 psi. son capaces de matar a un ser humano que se encuentre al descubierto, así pues los refugios se diseñan habitualmente para soportar presiones de 50 psi a 500 millas del punto de impacto. Para dar más consistencia a la estructura del refugio y simplificar la misma, este se suele construir enterrado o semienterrado, teniendo especial cuidado del tipo de terreno y sus niveles freáticos. La secuencia lógica para la construcción de un refugio suele ser la elección del sitio y los usuarios, las especificaciones de seguridad, la construcción del enterramiento, muros, estructura dinámica, equipamiento, accesos, ventilaciones, cubiertas, etc.

Según la District Valuer and Valuation Officer (Regional Asesor in Scotland), existe una clasificación según las características del refugio doméstico, que se resumen en la siguiente tabla:

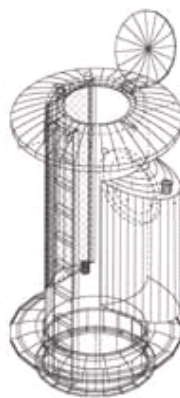
	Tipo 1 improvisado	Tipo 2 Interior prefabricado	Tipo 3 Exterior prefabricado	Tipo 4 específico
Protección blast en psi	Hasta 1,5	Hasta 6	Hasta 11	superior
Factor de protección radiaciones	No menos de 40	No menos de 70	No menos de 200	Superior
Distancia punto impacto en aire para 1 megatón, refugio intacto	7 millas	3 millas	2 millas	Muy próximo
ventilación	natural	Natural o forzada	o forzada	Forzada
Lugar de instalación	En casa o jardín	En casa	En jardín	En jardín
Planificación	En crisis	Compra en	Compra en	Compra e

		tiempo de paz instalación en crisis	tiempo de paz instalación en crisis o paz	instalación en tiempo de paz
Costo estimado en libras	250	De 880-1000	De 900-1800	De 6000....

### 6.6.2. Equipamiento del refugio para la supervivencia

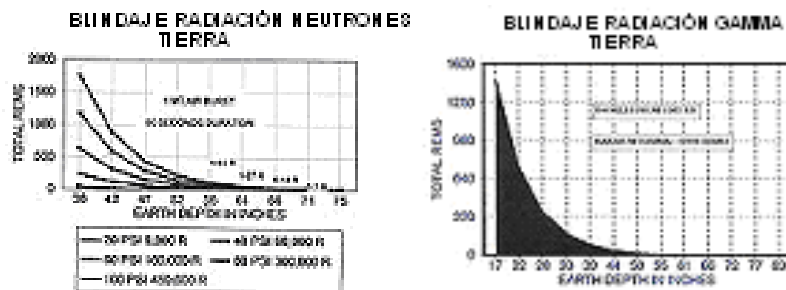
Todo el proceso de construcción con sus correspondientes instrucciones se suministran por parte de esta autoridad, así como consejo para equipamiento de este tipo de refugios, por ejemplo, el agua será envasada con reservas para catorce días a razón de 2,5 litros/día, comida para esos catorce días que incluirían la específica para niños y bebes, tener entretenimientos para estos, se deberá considerar el equilibrio nutricional y que sea fácilmente almacenable y conservable en condiciones ambiente, se aconseja la existencia de una radio comercial con cobertura y autonomía, en determinados casos será necesaria la existencia de una antena exterior, utensilios de cocina, limpieza y aseo personal, ropa de abrigo, elementos de escritura, botiquín de primeros auxilios, linternas, relojes y calendarios, fuera del refugio y en su proximidad zonas de almacenamiento y disposición de residuos, zona de almacén protegido de agua y alimentos asegurando su no contaminación ni degradación.

Las recomendaciones incluyen un listado completo de alimentos y sus cantidades, p.e. latas de verduras 2 Kg. Por adulto y día, latas de carne o pescado a razón de 2 kg. por día y adulto, etc

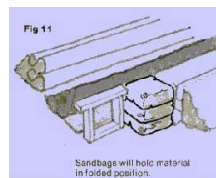
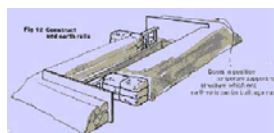
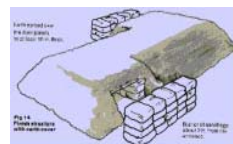
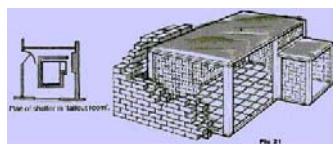


*Refugio prefabricado, para enterrar de tipo STARD (Stealth Terrestrial Attack Resistent Desing)*





Atenuación de los neutrones procedentes de una explosión nuclear en el terreno, lo mismo para la radiación gamma





*Imágenes correspondientes a diferentes etapas de la construcción de un refugio NBQ.*

### 6.6.3. Tipos de refugios

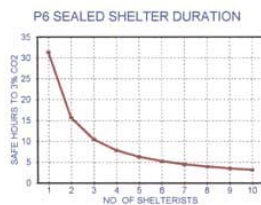
Existen fabricantes de refugios en EE.UU. como Radius Engineering Inc. Que fabrican diferentes modelos como el denominado P6, que se comercializa como protección frente a todo tipo de agresión NBQ, además de protección frente a intrusos, terremotos, incendios, huracanes, accidentes nucleares, los materiales con los que se construyen son básicamente fibra de vidrio y cuentan incluso con sistemas adaptables informatizados para control y ayuda a la supervivencia, a los que se pueden adaptar sistemas externos de radiocomunicación y mediciones. Este tipo de refugio puede conectarse en serie de manera que obtengamos un conjunto comunitario de refugios interconectados.

Pueden usarse como refugios “naturales” cuevas, túneles, minas, con adecuaciones a este cometido, por ejemplo según el FEMA en EE.UU. se estima que más de 34 millones de plazas en refugios de estas características podrían utilizarse en EE.UU.

Existen administraciones como la de EE.UU. que ofrece normas para la construcción de refugios de diferentes características así como ideas de que estructuras pueden llegar a utilizarse como refugios personales, tales como piscinas, fosas sépticas, túneles, etc.

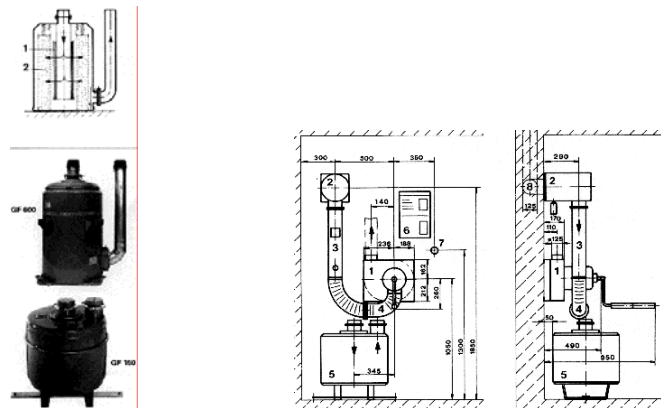
### 6.6.4. Equipamiento tecnológico

Los refugios estarán equipados con sistemas de ventilación que garantizan un mínimo de 3 pies cúbicos de aire por minuto y persona, suministrados por sistemas que garantizan su funcionamiento incluso en condiciones extremas, estos sistemas de ventilación se recomienda contengan un sistema de filtros compuesto de prefiltro, filtro HEPA y de carbón activo que por ejemplo protegen en los sistemas comercializados contra agentes tales como nerviosos, vesicantes, incapacitantes, toxinas.....

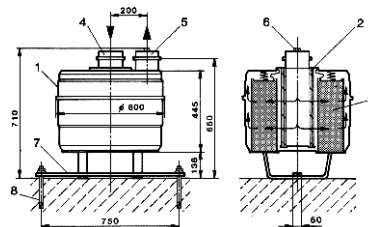


*Tiempos en horas de permanencia en atmósfera respirable dentro de un refugio, en función del número de ocupantes*

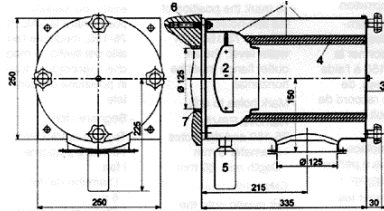
Las compuertas y sistemas que comunican el refugio con el exterior, además de garantizar la estanqueidad para evitar el acceso de la contaminación exterior al interior del refugio, deberán poseer integridad frente a agresiones mecánicas y térmicas, para lo cual se diseñan y fabrican según procedimientos específicos y se garantizarán mediante los oportunos ensayos y homologaciones, como por ejemplo la de la Oficina Federal de Defensa Civil Suiza.



Imágenes y planos de sistemas homologados de suministro de aire que incluyen sistemas manuales de trabajo. Pueden proveer hasta 70 personas con tasas de aire con filtro que van desde los 75 a los 300 m<sup>3</sup>/h.



Sistema de filtrado de aire homologado NBQ con prefiltro, filtro de alta eficacia y filtro de carbón activo.



Válvulas homologadas NBQ contra el efecto "Blast".

Otro equipamiento básico de los refugios es los sistemas sanitarios, que aseguran al menos para detritus humanos una tasa de evacuación de 2 litros por persona y día, en sanitarios de los usuales en campings y similares.

Es importante asegurar en la construcción del refugio su estanqueidad frente a las aguas de lluvia o drenajes del terreno, para ello la estructura se dotara de materiales hidrófugos y canales de drenajes perimetrales que conserven su integridad en cualquier circunstancia previsible.

Las penetraciones en la estructura del refugio, para entradas/salidas de aire y demás, aseguran su estanqueidad de juntas y la posible orientación con el viento, siendo de materiales resistentes a la erosión ambiental.

#### 6.6.5. Clasificación y justificación de los refugios

Los refugios según su capacidad pueden clasificar en personales-familiares o colectivos y según el grado de su adaptación a la agresividad del ataque también se pueden clasificar de diferentes maneras según normativas de cada país.



Diferentes clases de un refugio prefabricados, personales aislado, familiares y comunitarios, verticales y tipo batiscafo (Radius Engeneering Co.)

Los refugios NBQ pueden originarse como diseños específicos de países con avanzados programas de Defensa Civil bien por su concepción socio-política-económica o por sus necesidades estratégicas tales como son los casos de Suecia, Suiza donde se dispone una red de refugios subterráneos que garantiza incluso el ejercicio de actividades comerciales fundamentadas en su poderosa banca o Israel que se encuentra sometida a una continua tensión militar, en cuyos casos se diseñan, construyen y mantienen operativos de manera continua o bien se generan como consecuencia de actividades de planificación de Defensa Civil o militar que protegen unos objetivos sensibles con diseños específicos o se intenta establecer unos criterios e inventarios de tipos de construcciones que bajo ciertas condiciones puedan asemejarse a este tipo de refugios.

Vivir en una situación de emergencia como lo es un ataque NBQ, crea en la población una situación psicológica muy complicada, el instinto de supervivencia suele prevalecer sobre cualquier otra ética social, esto quiere decir que solo el entrenamiento y la autoridad pueden “controlar esta situación de caos”, esta complejidad se acrecienta de manera extraordinaria cuando las personas se tienen que hacinar en un espacio reducido y convivir en condiciones extremas con un futuro incierto, este es el caso de la vida en los refugios que puede prolongarse por períodos de quince días o más, la gente que se refugia en sitios colectivos, puede ser de muy diferentes procedencias y costumbres sociales, las familias pueden llegar al refugio separadas, las personas pueden estar heridas o traumatizadas, el ambiente poco higiénico favorecerá la aparición y propagación de enfermedades infecciosas, la carencia y racionamiento de elementos básicos pueden favorecer la aparición de trastornos psicómicos y enfermedades y en definitiva engendrar violencia interna en el refugio. Para minimizar estos efectos, son aconsejables la existencia de refugios pequeños en los que la situación es mucho más controlada.

#### 6.6.6. Planificación de un refugio colectivo NBQ tipo

MODELO DE REFUGIO NBQ PROGRAMADO COLECTIVO			
1-Entrada única	8-Zona controlada	15-Almacén sanitario	22-Mando
2-Monitorizaciones	9-almacén objetos personales	16-Almacén ropa y víveres	23-Climatización-ventilación
3-Controles	10-Asistencia sanit.urgente	17-Cocinas	24-Grupo electrógeno
4-Distribución	11-Ingresos aislados	18-Expendedor alim.-ropas	25-Depósito fuel (**)
5-Sala descontaminación	12-Igreas comunes	19-Comedor-estar	26-Depósito agua potable (*)
6-Zona controlada	13-Control acceso	20-Dormitorio aislado	27-Dormitorios generales
7-Almacén residuos cont.	14-Zona controlada	21-Zona controlada	30-WC-Duchas

SE son las salidas de emergencia y evacuaciones controladas que incluye la salida a zona enterramientos desde asistencia sanitaria.

(\*) Motobombas-grupos de presión, (\*\*) Quemadores, todos con salidas de gases exteriores protegidas

La zona de descontaminación tendrá un flujo de tránsito fijo y secuencial de manera que el personal contaminado pase de manera reiterativa hasta que sea eliminada la misma, en esta zona se atenderá a parte a heridos y enfermos, ancianos y niños, para lo que se dispondrá de varios equipos de descontaminación separados.

El proceso será entrada en la zona de descontaminación en un acceso único, triaje y control, los adultos sin problemas pasaran a un vestuario de hombres-mujeres (existencia de aseos) donde se despojaron de sus ropas para pasar seguidamente a un túnel de ducha de agua caliente a presión que actúa en todas direcciones y esta abierto en su zona superior para evitar sensación de claustrofobia (descontaminación-limpieza), al final del mismo, se entra en un tunel de secado con aire caliente progresivo. Después existe un equipo de monitorización de contaminación y si las medidas son negativas, pasaran a un vestuario donde se les suministrará ropa y utillaje personal (cubiertos, platos, vaso, material de aseo personal desechable, cartilla de racionamiento instrucciones de estancia, identificación personal). En la sala de estar se reunirá a los nuevos grupos para darles por parte de los responsables del refugio las normas de estancia que previamente se habrán leído que incluirán periódicamente controles sanitarios y apoyo psicológico.

Cuando el personal en la zona de monitorización posee urgencia vital, contaminaciones internas o de heridas abiertas o condicionantes especiales, pasaran a la zona de descontaminación por un acceso directo que dispondrá de duchas con posibilidad de cierre total o parcial y con "caja de guantes" de ayuda externa, lava-ojos, lava-cabellos, instrumental de curas de urgencias, sistemas de recogido de vertidos de limpieza-residuos y análisis de muestras, camilla especial para descontaminación-cura con protecciones laterales de acero inoxidable y policarbonato, provista de bandas de sustentación del paciente, sistemas de iluminación focalizados, equipos de protección personal para el equipo técnico, la zona tendrá superficies fácilmente descontaminables y limitadoras de su dispersión (p.e. no habrán esquinas, superficies planas y diáfanas, etc.) y contara con sistemas de comunicación interna y conexión a los Sistemas de Alimentación de Emergencias (SAI).

Seguidamente una vez atendidos sanitariamente y decontaminados, se les suministrara material al igual que antes y pasaran a la zona común o la de ingreso general si precisan asistencia sanitaria continuada. La de ingreso aislado y por separado es para personas que también precisan asistencia sanitaria continuada y que no han podido decontaminarse con riesgo de transmisión, o son terminales, pacientes con problemas psíquicos, patologías infecciosas trasmisibles, o situaciones especiales, etc.

El refugio además de lo que son sistemas de descontaminación y asistencia sanitaria dispondrá de toda la logística e intendencia que le permitan su autonomía previamente calculada para hacer frente a contaminaciones NBQ y albergar a un determinado número de personas en condiciones seguras durante al menos una semana. Estos equipos-instalaciones serán en comunicaciones, sistemas de intercomunicación entre dependencias del refugio, megafonía interna, circuito de TV cerrado para control interno y de los alrededores del refugio, teléfonos, fax, radioteléfono y radio con cobertura en frecuencias de Protección Civil y otras, radio comercial, video y cámara

(dotación de películas de entretenimiento, de formación al caso y películas vírgenes) y TV. equipo “midi”,telemando para accionar desde el puesto de mando puertas y escotillas del refugio, que a su vez dispondrán de aperturas manuales canceladas por cierres controlados por los citados responsables. Otros materiales del puesto de mando del refugio serían un sistema informático dotado de software aplicable a la situación, linternas, equipos de protección personal, instrumentación para monitorizaciones, archivos, caja fuerte, documentación e inventarios, protocolos, material de escritorio abundante, armas para control “in extremis” del orden interno por parte de los responsables del refugio y de la comisión de gobierno que debería de constituirse entre los albergados de manera democrática basada en criterios de representatividad y cualificación y siempre que el período de estancia lo haga viable. Esta normativa debería de contemplarse en la normas reguladoras de la Protección Civil a nivel del Estado y de las C.C.A.A. y todo lo referente a la práctica de defensa civil debería de darse a conocer de manera teórica y práctica a toda la sociedad a través de los medios de difusión, formación en los centros de trabajo o asignaturas y actividades en los centros educativos.

Los responsables de mando del refugio dispondrán de programas establecidos de formación de usuarios que fomenten la autoprotección y protección colectiva durante su estancia en el refugio y la supervivencia posterior en la salida al exterior, la colaboración y convivencia, la solidaridad, la distracción, la colaboración en las tareas de mantenimiento y operación del refugio, asistencia social, apoyo psicológico y otros que surjan de los propios usuarios, de manera que se consiga una estancia para la mayoría segura, aceptable, digna y útil para las condiciones hostiles del ambiente. Toda la operatividad del refugio pasará por mantener su personal responsable debidamente formado y actualizado para lo cual se implicara en las labores de mantenimiento y habituallamiento periódicas del mismo a la vez que participara en simulacros y existirá en número y localización suficiente como para garantizar su disponibilidad a todos los niveles en caso de necesidad, cuando aparezcan cargos duplicados, existirá en los protocolos internos una definición unívoca de la elección del responsable único y quien lo será por delegación temporal o por imposibilidad física-psíquica del titular.

En general un refugio NBQ deberá de prestar especial atención a aislarse del exterior contaminado mediante la adición de filtros especiales a todas las tomas de aire y presurización positiva de su interior, además de sellar todas las aperturas mediante escotillas, cierres herméticos y adición de materiales sellantes (p.e. siliconas, cintas adhesivas especiales, etc.) Otra consideración básica es su autoabastecimiento de materias básicas y que estas garanticen su ausencia de contaminación p.e. agua potable y víveres en conservas herméticas, ropa, medicamentos, sistemas de comunicación y otras cuestiones son el mantenimiento de condiciones higiénicas para sus usuarios así como la organización interna mínima para garantizar una convivencia aceptable y en el caso Nuclear garantías sobre la consistencia frente a la onda térmica y de presión (cuestiones que a su vez dependen del punto cero de la explosión, el tipo de ingenio y si la explosión se efectuó sobre suelo o a determinada altura, entre otras cuestiones.) que a su vez requerirán especial refuerzo de las superficies verticales que interesara sean mínimas (enterrar parte de ellas) y garantizar las salidas de evacuación frente a su cegamiento por escombros de grandes dimensiones o cantidades, para esto se realizan salidas independientes en orientaciones distintas y se proveerán de sistemas hidráulicos de empuje por resortes o contrapesos que garanticen su funcionamiento incluso en

ausencia de fluido eléctrico. En general salvo que el diseño lo contemple mediante el refuerzo de estructuras, estos refugios no se diseñan para soportar bombardeos directos.

#### **6.6.7. Adecuación de edificios a refugios**

Cuando no existen refugios específicos y estamos en entornos urbanos, las autoridades competentes pueden establecer una serie de criterios que puedan llegar a clasificar a determinadas obras civiles existentes en ese entorno como “refugios” con grados de adecuación variados pero siempre por encima de un mínimo aceptable. Así pues si se trata de refugios colectivos deberían de cumplir lo siguiente:

-Adecuación inicial, control de los sistemas de ventilación-climatización (filtros en diseño y mantenidos), monitorización inicial antes de su uso (garantizar la inexistencia de contaminación), existencias mínima de medios humanos y materiales p.e. personal responsable técnico, material sanitario de primeras curas y alimentos envasados.

-Accesibilidad a la población de una zona y a personas discapacitadas

-Capacidad mínima

-Posibilidad de aislamiento-control de accesos/salidas

-Comunicación exterior múltiple y autónoma (documentos de protocolo de comunicaciones).

-Iluminación de emergencia y autónoma.

-Publicidad de su existencia

-Abastecimiento de agua potable con garantías.

-Resistencia mecánica para su capacidad de usuarios y situación hostil externa y garantías de que esta íntegro y su estructura no sufre menoscabo que pueda ser un peligro para sus refugiados por ejemplo por derrumbes, acumulación de contaminación, malas condiciones higiénico-sanitarias, etc..

Edificaciones susceptibles de esto serían:

- Líneas y estaciones de ferrocarriles subterráneos.

- Grandes superficies comerciales en el subsuelo o semienterradas (SS-SE).

- Edificios públicos de dimensiones importantes SS-SE.

- Aparcamientos SS.

- Instalaciones de colegios y hospitales.

- Zonas anexas a cámaras acorazadas de bancos y pinacotecas.

- Túneles y pasos subterráneos.

- Depósitos y silos vacíos y practicables.

- Bodegas de naves y aeronaves si no hay que soportar mas que exposiciones a contaminación.

- etc.

Estas edificaciones serían objeto de un pormenorizado inventario de las ya existentes por parte de la autoridad competente así como de a través de los permisos de nuevas edificaciones, se localizarían e incorporarían aquellas nuevas que pudieran ser de interés a esta base de datos. Una vez conocida su existencia, se deberían de inspeccionar cada una de ellas para según sus características asimilarlas a los grados de adecuación predeterminados o adecuarlas mediante actuaciones razonables y en general



subvencionadas. Todas estas edificaciones con posterioridad a su inventario pasarían a un programa de inspección y mantenimiento periódico que incluiría la instrucción de su personal responsable de la propia administración y de la comunidad de usuarios.

#### **6.6.8. Refugios restringidos**

Si se trata de refugios restringidos a comunidades o familiares, se utilizarán espacios protegidos con las premisas anteriores donde en última instancia y como mínimo se garantice el que sus usuarios se verán expuestos a contaminaciones nulas o menores que las exteriores y no se verán sometidos a un riesgo para su integridad por causas mecánicas de la estructura, sanitarias u de cualquier otra índole superior a permanecer en su exterior. Estos refugios normalmente serán garajes de comunidades, sótanos de viviendas y similares. En caso de emergencia generalizada, será muy difícil antes de su uso garantizar cuestiones que se deriven de su monitorización por carencia de personal cualificado o equipos de medida, así pues se recomendaría su uso utilizando los medios de protección personal de que se disponga y en su ausencia únicamente observando previamente a su uso la buena consistencia de la estructura y evitando a partir de ese momento la penetración de contaminación a su interior, para lo que deberían sellarse las entradas y controlarse accesos durante al menos las primeras horas de la exposición en función de la autonomía de aire del recinto y el gasto de sus usuarios.

Cuando se trate de habilitar un refugio en el propio hogar, se buscara dentro del mismo una zona de fácil acceso desde el exterior el cual se señalizara con algunos objetos llamativos e “indelebles” para facilitar en su caso el rescate posterior de sus usuarios, dentro de la vivienda se buscara una zona con construcción sólida y que minimice las penetraciones exteriores, para evitar los daños por impactos mecánicos, se eliminarán objetos pesados, suspendidos, frágiles e inútiles en la estancia, se cerrarán puertas y ventanas y estas se protegerán con paramentos exteriores e interiores sólidos que puedan ser fácilmente removible desde el interior y no así desde el exterior, de esta manera se evitara el acceso al lugar de mas personas de las que se haya dispuesto en casos de pánico o pillaje posterior a las situaciones de caos y supervivencia en condiciones extremas, esta dificultad en general no restara efectividad a los medios oficiales de rescate dada su preparación y medios.

Para evitar impactos directos o indirectos térmicos o mecánicos conviene ocupar en los primeros momentos de un ataque combinado químico/biológico con proyectiles, posiciones a ras del suelo y protegidos a su vez por algún paramento removible o materiales acolchados lo menos ignífugos posibles y con un alto punto de llama y degradación a la temperatura. Se eliminarán también objetos y materiales inflamables y se cortaran los fluidos a la vivienda que puedan favorecer incendios, explosiones, inundaciones o enrarecimiento de la atmósfera interior del recinto, tal es el caso de electricidad, gas, agua (solo utilizable para inodoros al que deberá accederse a ser posible dentro del recinto protegido, por si el confinamiento se prolongara).

No se utilizarán sistemas de ventilación, refrigeración o calefacción que deterioren la atmósfera interior (p.e. por combustiones) o fuercen el contacto con el exterior. Se sellaran todas las penetraciones exteriores directas mediante cintas adhesivas para sujeción y taponamiento con materiales no porosos a ser posible y se hará una estimación previa de la autonomía de ventilación del recinto en función de su

volumen, nº y edades de los ocupantes que estarán en situación de bajo consumo por su escasa actividad física en el interior salvo que hayan circunstancias que alteren esta suposición tal y como es el caso de la existencia de patologías respiratorias, existencia de recién nacidos, etc.

Si se cuentan con ellos será conveniente la utilización de los equipos de protección personales, fundamentalmente las máscaras de respiración autónoma, observando las condiciones que junto con este material se hayan suministrado.

#### **6.6.9. Sistemas de comunicaciones**

La estancia deberá de proveerse o seleccionarse con un sistema de comunicaciones convencionales exteriores p.e. teléfono fijo, teléfono móvil (previamente se les habrá dotado de autonomía mediante carga de sus baterías), equipos busca-personas, radio-comunicadores, emisoras de radioaficionados, interfonía, etc., todo sistema deberá contar con cobertura exterior por la que pueda emitirse mensajes de socorro o recibirse desde el exterior **instrucciones oficiales** que serán observadas por los refugiados de manera precisa. Además de lo anterior se dispondrá de sistemas de alumbrado autónomo a pilas/baterías evitando otros que enrarezcan la atmósfera respirable (p.e. velas que consumirán oxígeno y favorecerán incendios).

Se dispondrá a ser posible de radio receptores convencionales autónomos por los que también se pueda tener un conocimiento oficial de la situación exterior y pautas de actuación. Esta información exterior debe a ser posible y para evitar deterioros psicológicos de determinadas personas refugiadas mas vulnerables, oída y examinada de manera restringida y conjunta por dos o mas personas maduras y mas cualificadas de su interior.

#### **6.6.10. Recomendaciones generales**

Indispensable para poder permanecer refugiado en periodos de confinamiento superiores a 24 horas sería disponer de ropas de abrigo si es el caso, elementos para pernoctar de manera “confortable”, comida y agua envasada herméticamente en cantidad suficiente y algo de material de aseo personal e higiene así como de un botiquín mínimo. Desde el primer momento deberá de establecerse unas normas de convivencia asumidas por todos que garanticen la estancia segura, solidaria, higiénica y lo mas confortable posible de todos los refugiados y en especial de aquellos mas vulnerables, repartiendo para ello las tareas y responsabilidades.

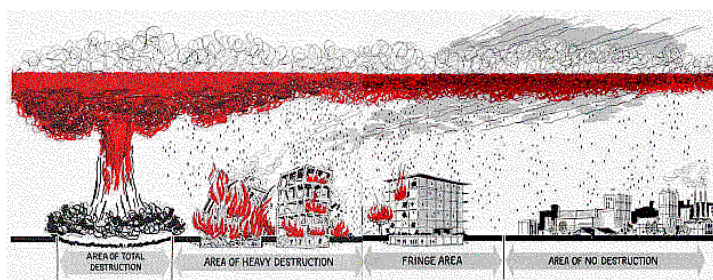
#### **6.6.11. Refugios improvisados**

En el entorno rural estructuras con ciertas características como para que se puedan usar con alguna garantía, además de las asimilables a las comentadas anteriormente serían el buscar protección instantánea frente a explosiones nucleares, tomando posición “a tierra” si es posible ligeramente enterrados, detrás de paramentos sólidamente anclados y “livianos” para evitar las quemaduras y cegueras y el aplastamiento por la propia protección (onda de presión y térmica) y con forma de deflector aerodinámico y acústico (superficies planas y en pendiente) y luego aplicar medidas directas de autoprotección tales como, proteger la visión cerrando los ojos y tapándolos con las manos cruzadas, proteger piel con ropa que no se prenda o derrita

por efecto del intenso calor, no favorecer la contaminación interna por uso de bebidas o ingestión de alimentos sin envasar, limpiar, lavar con garantías y tapar heridas, no tener relaciones personales y usos compartidos de materiales sin garantías, no fumar, no exponerse en el exterior salvo lo imprescindible, intentar despojarse y lavarse con uso posterior de nuevas prendas limpias de aquellas que hubieran sufrido la intemperie inicial o de las superficies corporales expuestas, sobre todo orificios y sus mucosas. pelo y cuero cabelludo, cuando se trate de madres en lactancia hay que extremar estas medidas así como la limpieza del pecho materno o de los biberones y sus elementos, evitar hacinamientos excesivos y contacto con grupos numerosos, intentar obtener información exterior vía radio-tv si es posible y sobre todo que esa información sea solvente de la situación y su desarrollo y atender en ese caso a sus instrucciones. Si la contaminación es biológica una garantía mínima nos la puede dar el someter al agua y alimentos de consumo humano a procesos de cocción calor prolongados y no convivir con animales de cualquier índole.

#### 6.6.12. Técnicas de construcción específicas para refugios

Existen técnicas que pueden favorecer la resistencia de la resistencia de edificios a los efectos del “Blast” y la onda térmica de las explosiones nucleares, estas son suministradas por el Departamento de Defensa de los EE.UU (Defense Civil Agency).



*Diferentes tipos de destrucción de edificaciones en función de la distancia al punto de detonación de la bomba nuclear.*

La primera reflexión se hace en el sentido de que habría que considerar dos grandes zonas de afección después de un ataque nuclear, la zona que se destruye total o parcialmente por efecto de las ondas mecánicas, térmicas, radiación inicial, pulso electromagnético, incendios y la otra zona mucho mas alejada en el espacio y tiempo que se vería afectada básicamente por la deposición de la contaminación radiactiva (Fall Out) (“Advanced Protective Shelter Design”, 1965). A la vista de esto se establecen como recomendaciones las siguientes:

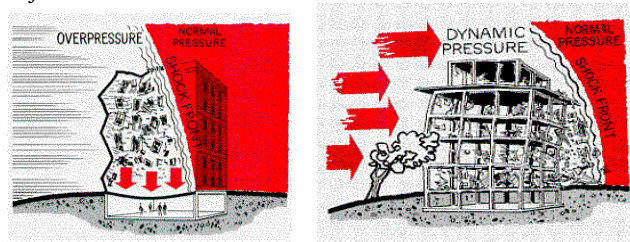
Las zonas protegidas no tienen que ser reconocibles ni afectar con cambios significativos al costo del proyecto.

La radiación térmica viaja en línea recta desde su foco emisor, cuando llega a los objetos opacos cede parte de su energía en forma de calor. Los objetos de colores claros reflejarán mas parte de energía calorífica que los oscuros, los materiales finos se

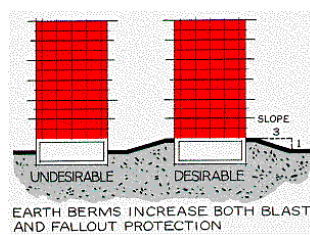
quemaran antes que los gruesos, la energía radiante penetrara en el edificio a través de sus aberturas. Por todo esto se recomienda que se utilicen persianas metálicas interiores o de fibra de vidrio, cristales ahumados que disminuyen la transmisión de energía térmica, evitar la utilización de materiales fácilmente combustibles.



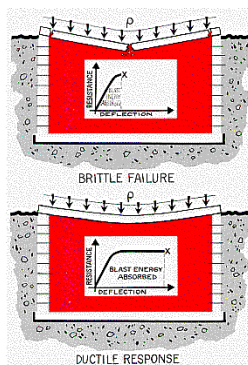
La separación entre edificios dificultara la propagación de fuegos a gran escala. La utilización de materiales especialmente resistentes al fuego en sus muros exteriores y tejado mejoraría la situación.



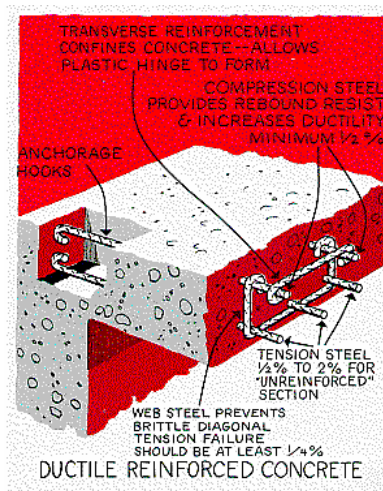
La situación de sótanos semienterrados ayuda proteger a sus moradores del Fall out y de los efectos de las otras ondas mecánica-térmica.



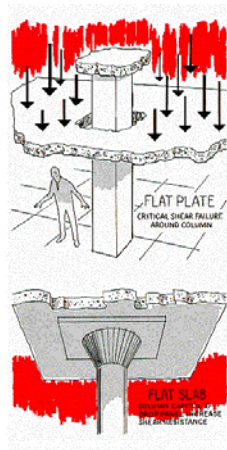
La construcción sobre terrenos deformables, evitara la colapsación de la estructura superior por acumulo del peso de los escombros.



En la fabricación del hormigón se pueden disponer de varillas de acero que le confieran nuevas propiedades elásticas y de resistencia.



La colocación de superficies suplementarias de refuerzo y distribución de carga en las bases de las columnas, puede evitar la caída de la parte soportada por rotura localizada del apoyo.



## **ANEXO VII: TRANSPORTES Y SU USO EN CONDICIONES DE DEFENSA NBQ**

### **6.7.1. Aspectos generales**

Cuando se trata el tema de transportes en defensa NBQ hay que hacer una consideración general previa a todos ellos y es que el transporte debe ante todo cumplir la misión que se le encomiende con la máxima eficacia y a la vez protegiendo lo mas posible a sus usuarios y generando los menos posibles problemas residuales, esta es una premisa que como se observara se insiste en ella a lo largo de toda la exposición de tema de transportes. El transporte ideal NBQ es un vehículo que al intervenir en zona contaminada cumple plenamente su cometido como transporte, sufre las mínimas contaminaciones y estas son fácilmente eliminables, además protege a sus usuarios contra la contaminación de manera quasi-absoluta.

Planteado este axioma, diremos que los transportes que pueden quedar incursos en emergencias del tipo NBQ son los habituales, tales como los de todo tipo terrestres, aéreos y marítimo-fluviales, siendo los mas probables los medios terrestres (carreteras, ferrocarriles...) con diferencia frente a los aéreos por la limitación de sus existencias, menor accesibilidad y las limitaciones de su operatividad, en cualquier caso estos medios deben de cumplir unos requisitos generales comunes que en el caso de la OTAN están estandarizados en normas tales como las denominadas STANAG (Standard Agreements).

En general se puede decir que los vehículos con características de sumergibles o anfibios, por sus características constructivas de materiales, estanqueidades, diseños, etc., reúnen requisitos que los hacen más fácilmente utilizables como transportes en situaciones NBQ (STANAG-NATO).



*Vehículos militares anfibios*

### **6.7.2. Los transportes terrestres**

Se pueden clasificar en los dedicados al transporte de personal (de intervención o evacuación en sus diferentes cometidos o civil/militar) o de materiales, a su vez estos transportes pueden dividirse en urgentes o programados, cuando se trate de trasladar al personal de intervención, asistencia sanitaria o material vital o de apoyo logístico imprescindible para el control de la situación, se consideraran urgentes, cuando por el contrario se trate de transportar personal u objetos una vez controlada la situación, se podrá considerar como programado, en cada caso como es normal existirán diferentes exigencias técnicas para el vehículo.

Cuando se trata de transportes terrestres mediante vehículos de tracción a motor para circuitos urbanos, carreteras, pistas o similares, se deberían plantear las siguientes exigencias:

En orden de prelación su disponibilidad, la funcionalidad máxima con el cometido a que se destinen y por último el intentar adecuar el vehículo a la situación y que por lo tanto emule lo más posible al vehículo ideal NBQ, otros requerimientos para estos transportes serían aquellos que por tratarse de situaciones no urgentes, se pueden programar como requisitos técnicos para que los vehículos se puedan usar con ciertas garantías en condiciones NBQ, tales como:

-En la selección de vehículos “acondicionables NBQ”, se busca estanqueidad, filtrado adecuado de aire, no adherencia de la contaminación y fácil descontaminación (superficies lisas, en pendiente, no rugosas ni reactivas, libres de objetos, etc.), básicamente se pretenden mínimas penetraciones de aire exterior, ventilación interior controlada.

-En el uso del vehículo formación específica del personal conductor y ayudante en materia NBQ que garantice la protección frente a la contaminación.



La contaminación desprendible en las pistas de rodadura en forma de salpicaduras, nubes de polvo puede penetrar en el interior de los vehículos a través de escotillas y otras penetraciones.



-Cuando los vehículos convencionales se adecuan a especiales NBQ, según el grado de adecuación, se tipificaría el vehículo como seguro para intervenir en incidentes NBQ en diferentes categorías.

-Si se trata del uso de vehículos existentes en la zona donde se ha producido la agresión NBQ, hay que prestar especial consideración a la descontaminación de los mismos, su procedencia, monitorización, técnica de descontaminación, registro de niveles, control de material residual y del propio vehículo y sus ocupantes (destino),.

-Los vehículos usados en operaciones NBQ deben sufrir operaciones especiales de mantenimiento que incluirán reposiciones de materiales, engrases de partes afectadas por los materiales descontaminantes, repintado, sellado de juntas y penetraciones, limpiezas y eliminación de filtros, otras.

-el registro e identificación de actuaciones sobre estos vehículos, sus usuarios y responsables.

Cuando no se disponen de vehículos con características especiales NBQ, se deben buscar aquellos que sean los más parecido posible y admitan la colocación de sistemas removibles de adecuación tales como filtros, sellados, fundas, pequeñas superficies de rodadura combinada con el tipo de neumático/cadena-guardafangos y altura y protección de bajos que minimice la dispersión de la contaminación, la autocontaminación y cumpla su misión, así como otras características de las expuestas anteriormente.

Es importante considerar en el asunto de las adecuaciones de vehículos pueden obviarse si no hay elección por cuestión de la intervención de urgencia, y paliarse con una buena técnica de descontaminación posterior a la intervención y una buena protección personal de los ocupantes del vehículo, siendo el resultado aceptable siempre y cuando no se hayan producido riesgos inaceptables para los usuarios del transporte y se hayan cumplido de manera eficaz los objetivos dispuestos, a lo que cabría añadir el costo económico de la operación según el caso, que en ocasiones puede llegar a suponer a la eliminación total del propio vehículo.

En general los vehículos completamente abiertos o las motocicletas, no deberían usarse en zonas contaminadas por, ser elementos de difícil protección.



#### **6.7.2.1.1. Adecuación de los transportes terrestres**

Cuando sea posible se le añadirán al vehículo “fundas removibles” que precintadas protegerán el interior de habitáculos de la contaminación y que con su eliminación-tratamiento posterior minimizara el problema de la contaminación. Estas fundas deberán de considerar entre otras cuestiones una sujeción y composición adecuada que garantice su estanqueidad y su fijación de acuerdo con la velocidad de desplazamiento del vehículo y condiciones ambientales así como preserve la visión del conductor que se protegería con elementos traslúcidos (pe. plástico transparente), iluminación, salidas de elementos de comunicación (antenas), identificaciones, señalizaciones y sistemas de megafonía y balizamiento, accesibilidad al interior y a los conductos de ventilación del motor y de la zona de alojamiento (todo ello debidamente sellado-precintado). Esta colocación de materiales servirá de manera adicional para evitar que determinadas partes del chasis puedan dañar las vestimentas especiales NBQ. Las entradas de aire que afecten al personal se protegerán con filtros adecuados que garanticen un caudal mínimo de renovación, cuestión que podría obviarse en parte si se garantiza que los usuarios del transporte portaran sus sistemas de protección personal NBQ. Al igual que cuando se despojan las personas de los equipos personales de NBQ conviene haber efectuado una descontaminación general previa además de hacerlo con una técnica que evite la contaminación de otras personas o equipos y en cualquier caso la difusión del problema, para remover todos los elementos accesorios de adecuación de vehículos habrá que considerar esta misma situación.

En las entradas de conductos de refrigeración de motores es aconsejable su filtración suficiente para evitar la contaminación de partes internas de difícil tratamiento posterior (sobre todo en la contaminación radiactiva) o la incorporación de contaminación al proceso de combustión que la difundiría como gases de la misma a la atmósfera, por los mismos motivos hay llevar precaución con el repostaje con carburantes contaminados, todo lo cual complicaría el tratamiento integral de la difusión de la contaminación. Para el caso de contaminación química y sobre todo biológica la contaminación quedaría minorada o incluso eliminada según el caso por el propio proceso de la combustión (altas temperaturas y presiones).

#### **6.7.3. Formación de pilotos/conductores**

Una parte fundamental para el uso adecuado de transportes terrestres bajo condiciones de contaminaciones ambientales es la **formación de conductores y personal de mantenimiento**, todo este tipo de personal debe de instruirse mediante un proceso previo y continuado de formación que contemple aspectos teóricos y prácticos de cuestiones tales como la **conducción de vehículos especiales y adecuados en zonas contaminadas**, control de la velocidad de desplazamiento para evitar dispersión y autocontaminación, mantenimiento de las distancias de seguridad entre vehículos para evitar potenciar la contaminación de los mismos en función de los terrenos, condiciones meteorológicas, tipos de contaminantes, visibilidad, vulnerabilidad, urgencia, delimitar zonas de desplazamientos para hacerlas bajo condiciones de mínima contaminación para

pistas y velocidad segura de desplazamientos por la mismas, etc., así como todas aquellas otras expuestas dentro de las “facetas programadas” como requisitos para acondicionamiento de vehículos.

Cuando los vehículos viajan por caminos con desprendimiento de nubes de polvo o salpicaduras de terreno contaminado, se insiste en el mantenimiento de distancias de seguridad, el que si es posible no viajen en perfecta alineación, moderar si es posible la velocidad, utilizar rodaduras con la mínima sección, cerrar todas las ventanas y escotillas, usar lonas de cubrimientos, etc.

En ocasiones la contaminación NBQ es provocada en zonas de guerra, para hacer que los movimientos de tropas se hagan por determinadas zonas libres de contaminación NBQ pero con otros peligros como las minas antipersonales o contra vehículos.

#### **6.7.4. Transportes aéreos**

La contaminación de estos transportes se producirá básicamente cuando a propósito se les ataque en sus bases o cuando estos aterrizan, permanecen y despegan de zonas contaminadas, una vez alcanzan sus cotas de desplazamiento habitual y velocidad crucero dado el que la concentración de la contaminación decae en el espacio y tiempo por lo general y su dispersión es bastante localizada según la dispersión atmosférica, la contaminación que afecta a la aeronave es en general pequeña e incluso evitable o autoeliminada en su mayoría por el propio arrastre del viento, sin embargo aquella que permanezca en el fuselaje o partes mecánicas deberá de tratarse como persistente. Por la gran velocidad de desplazamiento, la penetración de contaminación al interior será grande aunque la superficie del orificio sea pequeña, así es que hay que evitar estos o filtrarlos de manera consistente (se sobrentiende que esto no es de aplicación a las toberas de entrada de reactores) y en lo posible colocarlos a “sotavento” en cuyo caso solo le afectara reflujos pero con la problemática de que actuaran como succionadores por efecto ventury por lo que habrá que compensarlos con tomas laterales con deflectores aerodinámicos y filtros. Los conocimientos por parte del piloto de la aeronave de los datos de la emisión del ataque con agresivos combinado con sus conocimientos y datos de la instrumentación de abord (dirección y velocidad del aire, gradiente de temperaturas, humedades, predicciones metereológicas,etc.) pueden ayudarle de manera muy precisa a evitar la mayor parte de la contaminación difundida.





*Avión de transportes Lockheed C5 Galaxy, accesos de vehículos y personal, detalle de las turbinas, helicóptero militar.*

Existen aeronaves que cumplen estándares NBQ a las que fundamentalmente se les exige estanqueidad, filtración y autonomía de ventilación y requisitos de fácil descontaminación de la misma manera que existen aeronaves especiales para luchar en este tipo de guerra o actuar como laboratorio y balizador móvil de zonas contaminadas, en este caso además de los requerimientos anteriores incorporan sistemas de localización, telemetría, comunicaciones, telemandos para tomas de muestras, sondas, equipos de medidas, procesadores de datos, etc., su aspecto “especial” les identifica rápidamente en sus actuaciones, cuestión esta que habrá que tomar en consideración en función del objetivo perseguido.

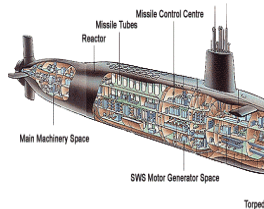
Desde el punto de vista funcional parece que los helicópteros tienen las ventajas sobre los aviones de mayor accesibilidad a zonas complicadas entre otras bien conocidos por todos los planificadores de los servicios de emergencia, desde el punto de vista de su actuación en situaciones NBQ el helicóptero presenta la ventaja frente al avión de evitar todo el trayecto de despegue-aterrizaje en el cual puede producirse una contaminación importante de la aeronave, pero por contra la rotación de las aspas del helicóptero puede mover según el terreno una gran cantidad de material contaminado a su alrededor provocando su diseminación o autocontaminación por lo que se recomienda si es posible preparar el terreno de aterrizaje seleccionando el adecuado, o previamente compactando, humedeciéndolo o si es el caso de vegetación acortándola así como aleccionar al personal de las inmediaciones guardando distancias de seguridad y protegiéndose detrás de paramentos y usando sus medios de protección personal. Los helicópteros además presentan por lo general en su estructura una gran cantidad de cavidades y resaltes así como ranuras que habrá que contemplar en el control de contaminación.

Por lo general el mantenimiento de aeronaves y en especial helicópteros es bastante exigente por lo sensible de sus componentes así pues habrá que ser muy cuidadoso con la técnica de descontaminación que se utilice y con el mantenimiento posterior al que se someta el aparato. Como ejemplo podemos citar la abrasión que

puede sufrir una pintura paramagnética con motivo de una descontaminación inadecuada y cuyo resultado puede ser que el vehículo en cuestión pierda parte de su capacidad antirradar.

### 6.7.5. Los transportes marítimo-fluviales

Las marinas de guerra de los países “desarrollados” poseen en sus manuales de combate recomendaciones para situaciones NBQ y determinadas partes vitales de las naves se encuentran diseñadas para actuar bajo estas condiciones hostiles, así se protegen los sistemas electrónicos vitales contra “pulsos electromagnéticos” procedentes de explosiones atómicas, se diseñan escudos contra sobrepresiones producidos por este tipo de explosiones, se hermetizan y automatizan el cierre de aberturas y escotillas pero sobre todo se añaden filtros de tomas de aire NBQ frente a contaminación de este tipo y se aprovechan las características de estanqueidad habituales de estos diseños para luchar contra esta contaminación que en este caso solo puede producirse envolviendo a las naves en una atmósfera contaminada previamente producida por diseminación mediante rociadores o explosiones en aire a baja cota, todo lo cual es fácilmente detectable por los sistemas de alerta de estas naves. Las partes de la nave que estén por debajo del nivel de flotación quedan a salvo de la contaminación inicial (la más intensa) por lo que la exigencia del grado de su protección puede minorarse pero no obviarse.



*Sección de submarino Vanguard UK, destructor de última generación, transporte naval con helipuerto incluido, carguero civil.*

Unas naves especialmente aptas para resistir estas agresiones son los submarinos los cuales además pueden sumergirse para exponerse el menor tiempo posible a la contaminación y en ese proceso autodescontaminarse pero si la contaminación hubiera accedido al interior el problema que se generaría en este tipo de nave sería mucho más complejo de tratamiento y en previsión habría que activar los compartimentos estancos nada más tener constancia del ataque, monitorizarlos por separado y aislar de tránsito y ventilación aquellas zonas sospechosas del resto, el personal procedente de las mismas se monitorizaría, descontaminaría y asistiría sanitariamente en zona segura.

En mar abierto es muy habitual la existencia de turbulencias atmosféricas y de la superficie marina todo lo cual hace que la dispersión y persistencia de estos agentes agresivos sea muy escasa en este escenario, por lo que es una posibilidad remota de uso.

La abundancia de recursos hídricos en estos escenarios facilita su uso masivo con los sistemas de limpieza y achique de gran caudal de los buques se pueden usar para realizar descontaminaciones masivas "in situ" sin grandes problemas de contaminación residual, hay que prestar especial cuidado a la traslación de contaminación en la propia nave por salpicaduras o caídas de aguas residuales sobre todo cuando estas pueden ir a parar a compartimentos internos de la nave. La gran presión y salinidad en el caso de agua marina ayudaran a obtener grados de descontaminación importantes sobre todo en agresivos biológicos de la misma forma que para este tipo de contaminación sobre elementos metálicos expuestos a gran insolación y corrientes de aire provocara una bajada añadida de su persistencia. En contra diremos que en las naves existen muchos elementos en superficie con formas y materiales en los que será fácil la acumulación de contaminación, p.e. lonas, botes salvavidas, cuerdas y cadenas, orificios de armamento, alojamiento de munición, etc., por lo que habrá que considerarlos de manera especial en los protocolos de actuación.

Cuando hablamos de defensa civil el uso de este tipo de transportes se requerirá de manera esporádica y sobre todo como transporte de evacuados o aportaciones de materiales aprovechando los cursos fluviales, pantanos o litorales más próximos a la zona de la emergencia y su gran capacidad de transporte. Para las naves serán de aplicación en gran medida los procedimientos de adecuación expuestos en los otros tipos de transportes y habrá que extremar dadas sus habituales grandes capacidades la contaminación que se les produzca por su pasaje o equipos transportados así como establecer mecanismos capaces de con diligencia controlar (monitorización y descontaminación, asistencia sanitaria, si no se ha hecho previamente, control documental y evacuación sanitaria o definitiva ) al gran flujo saliente de estos transportes.

Las grandes corrientes fluviales y litorales marinos, poseen una especial distribución de corrientes aéreas conocidas por los tripulantes de naves, basándose en esto tomaran en consideración esta información para evitar en lo posible viajar en la misma ruta que la dispersión del agresivo. El llenado del transporte por personal evacuado ha de hacerse de manera muy controlada para evitar situaciones de pánico que puedan llenar al mismo hasta niveles por encima de los de seguridad y mezclando

personas contaminadas con libres de contaminación y sin separar aquellas personas más vulnerables a la situación por su edad o estado físico. Si la duración del traslado es larga y requiere el uso de abastecimiento de víveres y agua potable al personal embarcado habrá que extremar la ausencia de contaminación de todos estos suministros y si se dispone de espacio suficiente y personal adecuado es conveniente establecer una zona de asistencia que adelante el trabajo para el cribaje final en el destino.

**ANEXO VIII: PROTOCOLO DE ACTUACIONES EN INCIDENTES  
RADIOLÓGICOS CON BOMBAS SUCIAS Y MANUALES DE LAS GUÍAS  
PARA ACCIONES PROTECTORAS EN INCIDENTES NUCLEARES**

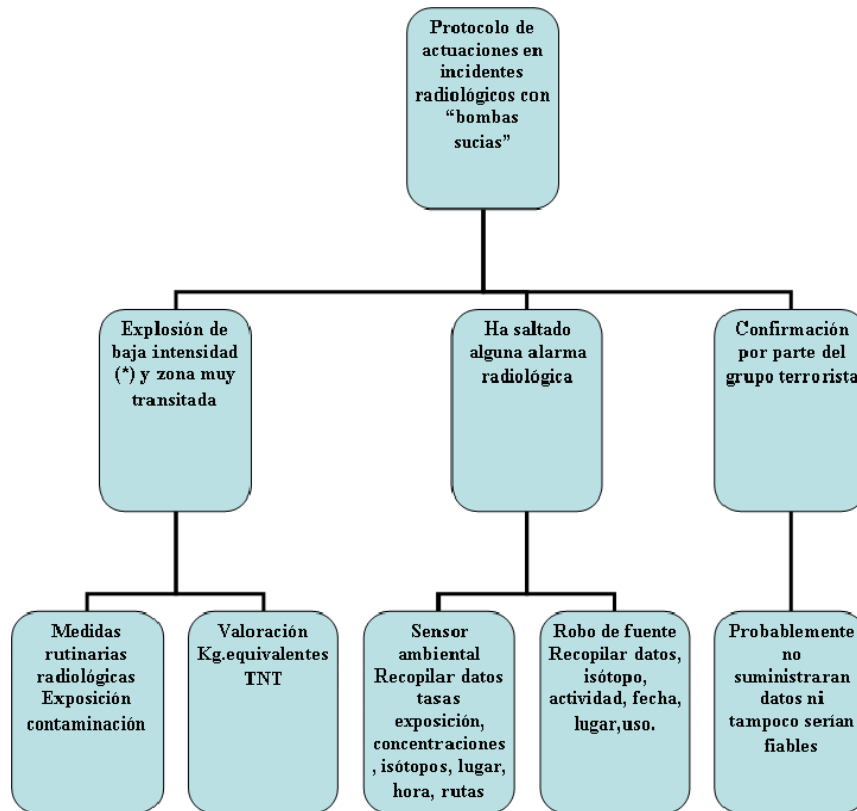
**6.8.1. Protocolo de actuaciones en incidentes radiológicos con bombas sucias**

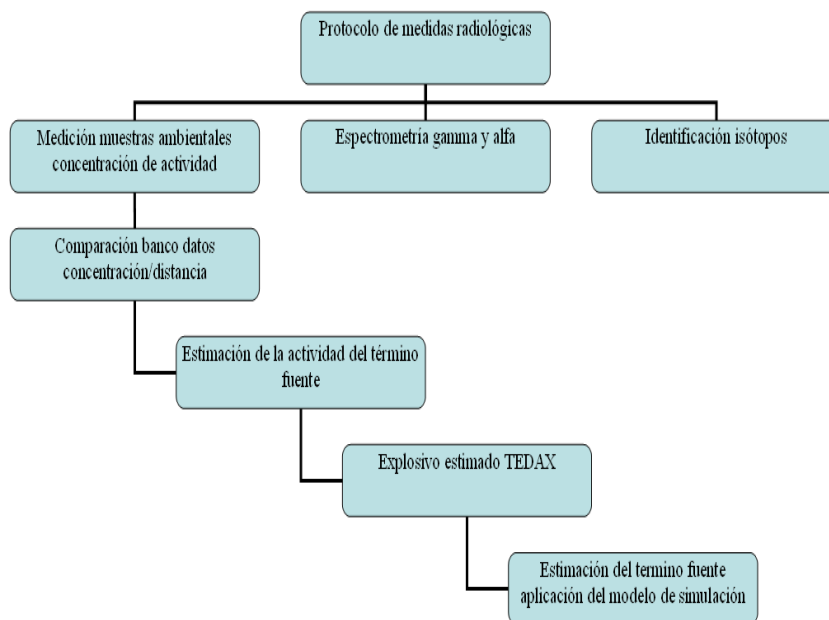
Para poder realizar la simulación de las posibles consecuencias del ataque terrorista con la “bomba sucia”, aplicaríamos el protocolo que se propone en la presente tesis, expuesto a continuación, fundamentalmente consiste en los siguientes pasos:

1. Alerta de posible “bomba sucia”
2. Valoración TEDAX (artificieros policía/Guardia Civil/Militares)) Kg. equivalentes TNT.
3. Identificación del isótopo/s
4. Establecimiento de condiciones meteorológicas (estabilidad, velocidad y dirección viento)
5. Medición de concentraciones del isótopo en función de la distancia en la dirección del viento dominante hasta 2 Kms.
6. Existencia de lluvia (si/no)
7. Con los datos anteriores se compara con la tabla correspondiente del simulador para un isótopo determinado o similar (concentración vs. Distancia)
8. Con todos los datos anteriores asignamos la actividad estimada del isótopo
9. Con todo lo anterior se procede a la simulación.

A continuación se expone en forma de diagrama el protocolo anterior:





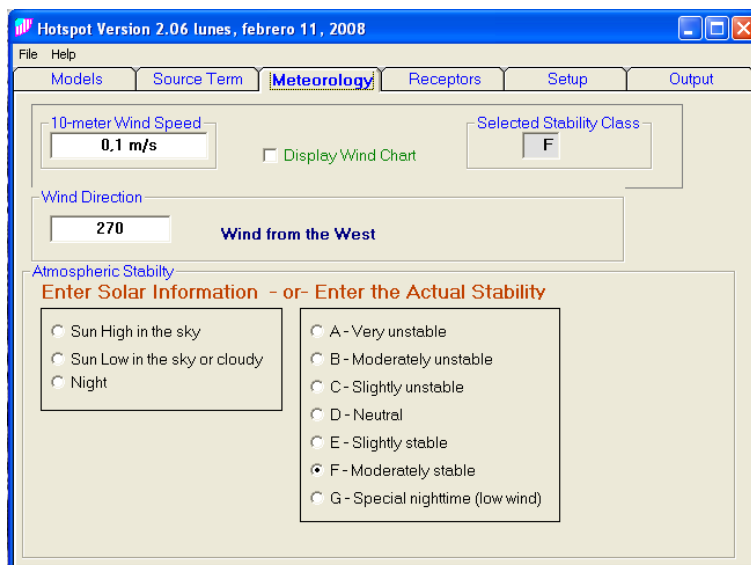
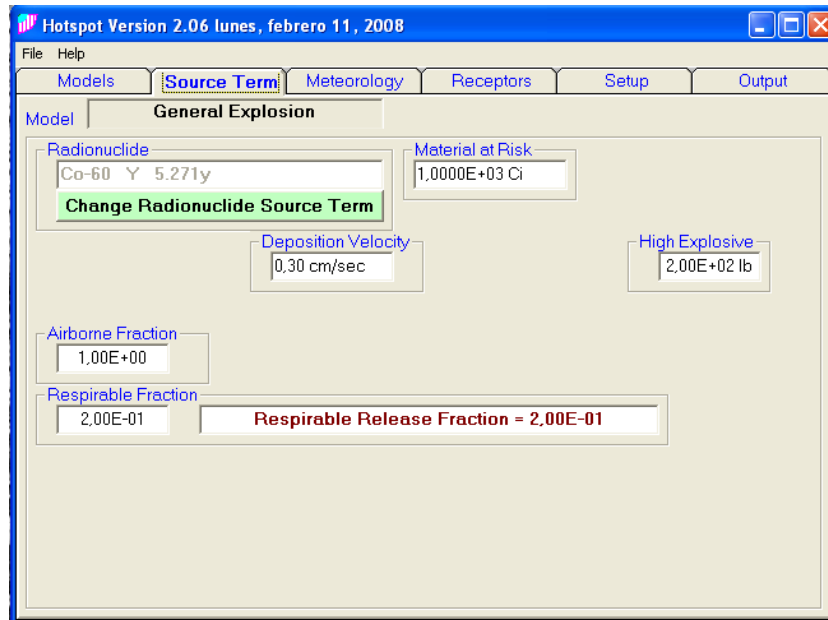


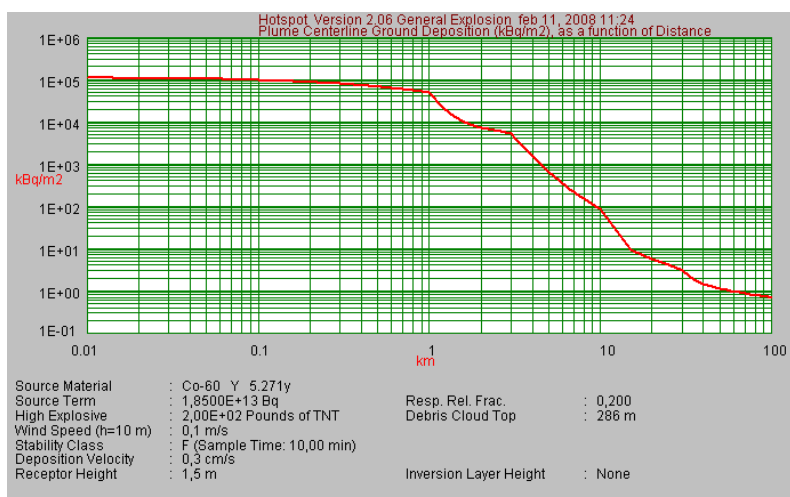
### 6.8.2. Ejemplo para aplicación del protocolo

A continuación y a título de **ejemplo para aplicación del protocolo** propuesto, se suministran para unas determinadas condiciones meteorológicas (que incluyen la no existencia de lluvia), para un isótopo determinado (Co60) y 100 Kg. equivalentes TNT, la tabla de valores de concentración vs. distancia para diferentes actividades del término fuente, concretamente para 500 Ci, 1000 Ci y 10000 Ci.. Este banco de gráficos, se podría completar para diferentes isótopos (los de más probable utilización), para diferentes condiciones meteorológicas y diferentes cantidades de explosivos.

La forma de trabajos sería la siguiente:

1. Se advierte de la posibilidad del uso de una bomba sucia.
2. Los expertos en explosivos (TEDAX) determinan la cantidad de explosivo utilizado en kgrs. Equivalente de TNT.
3. Mediante toma de muestra ambiental, se determina en su caso el o los isótopos utilizados.
4. Se toman en la dirección del viento muestras ambientales a varias distancias (coincidentes con la rejilla de simulación del Hotspot) para determinar valores de concentraciones en el suelo.
5. Con todos los datos anteriores, se consulta el banco de datos de gráficos de concentraciones en el suelo en función de la distancia en la dirección del viento dominante, y se ve cual es el que mas coincide, este modelo nos determinara exactamente que término fuente se ha utilizado, es decir cantidad de actividad del isótopo radiactivo.





### 6.8.3. Manuales de las guías para acciones protectoras en incidentes nucleares (PAGs) (PAGs, 1975)

(Manual of protective action guides and protective actions for nuclear incidents), desarrollado por la Office of Radiation Programs United States Environmental Protection Agency (1992)

Para desarrollar la parte las actuaciones a seguir después del ataque terrorista mediante la bomba sucia planteada en este trabajo, hemos seguido el documento citado en el título de este apartado, que se expone en sus partes de aplicación al presente trabajo a continuación.

En 1970 la EPA (Environmental Protection Agency EE.UU), delego la responsabilidad a otras agencias federales de crear guías para valores límites de exposición a las radiaciones ionizantes, así nacieron las PAGs destinadas en principio para accidentes en centrales nucleares.

La versión de las PAGs, salida en 1992, considera su utilidad para todo tipo de incidentes nucleares. Esta versión de la guía incorpora los coeficientes de riesgo incluidos en la FGRN 11 (Federal Guidance Report Number 11).

Las guías incorporarían mas tarde datos sobre referencias en el agua potable y en valores basados en el accidente de Chernobyl, fundamentando los cálculos dosimétricos en las publicaciones 26 y 60 de la ICRP (Internacional Comisión on Radiological Protection).

- La PAG define la dosis proyectada como un valor para una persona ante una emisión de material radiactivo que mediante una medida protectora puede llegar a evitar que se alcance.

- Por lo tanto la dosis proyectada es una dosis que puede ser evitada por las acciones protectoras.

La PAG esta concebida como una ayuda para las autoridades que en un momento determinado tienen que tomar decisiones frente a una emergencia radiológica, y para ello la emergencia la divide en diferentes fases:

Fase Temprana (FT): desde unas horas o días desde que se detuvo la emisión.

Fase Intermedia (FI): desde semanas a meses después.

Fase última (FU): desde meses a años.

En la FT puede que no exista información disponible o esta sea poco precisa, pero aún así habrá que tomar decisiones.

En la FI, existirán datos disponibles, por lo tanto las decisiones podrán ser más restrictivas y ya se podrán comenzar las tareas de descontaminación.

En la FU ya no se trata de una emergencia y por lo tanto las medidas a adoptar en esta fase se planifican a medio y largo plazo como por ejemplo la limpieza y recuperación de espacios.

Las dosis proyectadas en las PGAs son:

- 2007:
  - Evacuación/refugio: 1-5 rems (10-50 mSv)
  - Umbral KI: 5rems (50mSv) dosis en tiroides(en niños)
  - Trabajador 5,10,25+ rems (50,100,250+ mSv)

El primer punto hace referencia a la evacuación y refugio de personas, el segundo punto KI se refiere a la administración de Ioduro Potásico a niños en caso de emergencias en plantas nucleares ante la emisión de yodos radiactivos (basado en la experiencia de Chernobyl), y el último punto se refiere a dosis para los trabajadores que actúan en el control de la emergencia.

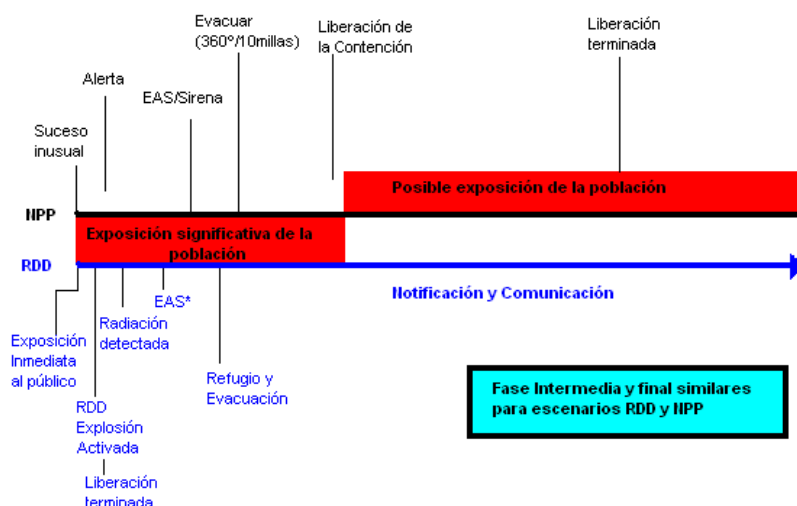
La PGA, contempla que en la FI (fase intermedia) se intente reducir o evitar la dosis al público, controlar las exposiciones de los trabajadores, evitar la diseminación de la contaminación y preparar las tareas de descontaminación a largo plazo. Como referencias de dosis para esta fase se dan las siguientes:

- 2007:
  - Población reubicada:  $\geq 2$ rem (20mSv) dosis proyectada.
  - Aplicación de técnicas de reducción de dosis:  $< 2$ rem(20 mSv)
  - Comida (FDA 1998): Se basa en los límites de:
    - 0.5 rem(5mSv) cuerpo entero
    - 5 rem(50mSv) órganos o tejidos más expuestos
  - Agua potable: 0.5 rem(5mSv) el primer año CEDE

Si pudiera llegar a los límites expuestos para los alimentos, se deberían tomar medidas para controlar los alimentos en superficie y líquidos no protegidos e incluso la estabulación de animales y embargo de producciones. Cuando se refiere “agua de bebida” el límite es extensible a todo tipo de bebidas.

La PAG desde el 11 de septiembre de 2001 considera los ataques terroristas como un hecho muy probable y entre sus posibles formas de ataque, se incluirían los dispositivos de dispersión radiológica (RDD) conocidos como bombas sucias o sistemas nucleares improvisados (IND) elaborados en este caso con armas nucleares incontroladas.

Para estos casos la PAG contempla como máxima prioridad, salvaguardar vidas, evitar los efectos agudos y minimizar los efectos a largo plazo.



El gráfico anterior representa en la PAG la secuencia de actuación ante un incidente en una planta nuclear NPP y un sistema de dispersión radiológica RDD. Una diferencia fundamental de actuación entre ambos casos es que en el suceso NPP la notificación al público se hace antes de su exposición mientras que en el RDD se hace una vez se han expuesto. Para ambos casos las fases intermedia y final son similares.

Factores a considerar a la hora de planificar la decontaminación serán el tamaño de la zona contaminada, su grado y tipo de contaminación, la importancia de la zona, los residuos generados, los efectos económicos, el convencimiento de la población...

A continuación se va a pormenorizar las actuaciones en las diferentes fases de actuación.

#### 6.8.3.1. Respuesta Fase Inicial

- Notificación de las autoridades
- Evacuación inmediata/refugio (si es necesaria), antes
- Informar o tomar medidas.
- Monitorización de la emisión y medidas de exposición.
- Estimación de consecuencias según dosis.
- Toma de medidas protectoras en otras áreas si fuera necesario.

Las vías de exposición en la Fase Inicial son fundamentalmente la exposición directa y la inhalación, todo ello proveniente del movimiento de la pluma radiactiva cuando atraviesa las zonas pobladas, las personas pueden recibir exposiciones directas del material radiactivo que se les deposita sobre la piel o ropas. La otra vía de exposición que en general es muy superior a la antes citada, es la debida a la inhalación del producto radiactivo en aquellas personas que se encuentran sumergidas en la pluma.

En la Fase Inicial los datos no son lo suficientemente precisos por lo que para fijar las dosis proyectadas se usaran combinaciones de datos estimativos tales como medidas ambientales, estimaciones del término fuente y transportes atmosféricos similares en parecidas condiciones meteorológicas.

Una forma de hacer estimaciones manuales de la exposición en el centro de la pluma y a una altura de un metro sería utilizar la siguiente formula:

$$D_2 = D_1 (R_1/R_2)^y$$

- Si un modelo específico no está disponible, este método simple puede usarse para calcular la tasa de exposición en el centro de la pluma al nivel del suelo (1m de altura).
- $D_1$  y  $D_2$  son medidas de tasas de exposición en el centro de la pluma a distancia  $R_1$  y  $R_2$ .
- $y$  es una constante que depende de la estabilidad atmosférica:

Tipo de estabilidad	$y$
A,B (vientos suaves diurnos)	2.0
C,D (viento > 10mph)	1.5
E,F (vientos suaves nocturnos)	1.0

### 6.8.3.2. La Evacuación

El primer objetivo es evitar la exposición de personas, sacando a estas de la trayectoria de la pluma.

La medida puede ser plenamente efectiva si conseguimos sacar a todos antes de que llegue la pluma.

Si ya ha alcanzado la zona la pluma, la evacuación reducirá las dosis de exposición.

### 6.8.3.3. El Refugio

Usar estructuras disponibles cercanas.

La decisión de refugiar a las personas se tomara en relación a las dosis previstas y los contaminantes.

El refugio debera controlar la ventilación y poder cerrar aperturas exteriores, una vez pasada la pluma, el refugio se abrirá para su ventilación.

En ningún caso se debería exponer a las personas a la pluma con la finalidad de buscarles refugio.

Los valores de referencia de exposiciones para trabajadores envueltos en la resolución de la emergencia son (EPA):

Dosis (rem)	Actividad	Condiciones
5	Todas	Ninguna
10	Protección de bienes importantes	No se pueden bajar mas las dosis
25	Salvar vidas o proteger grandes poblaciones	No se pueden bajar mas las dosis
>25	Salvar vidas o proteger grandes poblaciones	Personal voluntario con conocimiento total de riesgos

Estos valores contemplan la totalidad de las exposiciones durante la emergencia, cuando se tengan que llegar a las exposiciones de 25 rem (250 mSv), el trabajador será voluntario y se dará toda clase de información sobre posibles consecuencias, estos límites solo se podrán alcanzar cuando sea necesario para salvar vidas o proteger grandes colectivos.

La PAG incluye factores de conversión de dosis y niveles de respuesta derivados por radionucleidos, con la finalidad de poder determinar las dosis de exposición y la subsecuente toma de decisiones.

Los Factores de Conversión de Dosis son útiles para la exposición a multiples radionucleidos:



$$H = \sum_1^n DCF_i \cdot xC_i$$

H=dosis

DCF= Factor de Conversión de Dosis para Radionucleido i

C= Tiempo de integración de la concentración del Radionucleido i

$$DCF = V_g \cdot DCRF \cdot 1.14E-3 \left[ \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\lambda} \right]$$

donde:

DCF= dosis por concentración de aire ( $\mu\text{Ci}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot\text{h}$ )

$V_g$ = velocidad de deposición (360cm/h)

DRCF= factor de conversión de la tasa de dosis ( $\text{mrem}\cdot\text{y}^{-1} / \mu\text{Ci}\cdot\text{m}^2$ )

$1.14E-03$ =un factor APRA convertir  $\text{mrem}\cdot\text{y}^{-1}$  en  $\text{rem}\cdot\text{h}^{-1}/\text{cm}^2$

$\lambda$ = constante de decaimiento para el Radionucleido ( $\text{h}^{-1}$ )

t= duración de la exposición (horas), se asume 96 horas (4días).

#### 6.8.3.4. Respuesta Fase Intermedia

- Determinación de las vías de exposición.
- Relocalización y reducción de dosis.
- Dosis proyectada para exposición externa (gamma) e interna (inhalación).
- Límites de exposición.
- Objetivos de largo alcance.

Esta fase comienza desde que la fuente y emisión están bajo control, se dispone ya de medidas ambientales que facultaran la toma de decisiones, esta fase se superpondrá con el final y el comienzo de la fase inicial y final. En esta fase las vías de exposición son la de cuerpo entero por exposición externa y la interna por ingestión e inhalación. En este caso la ingestión de radionucleidos puede estar ligada con la bebida y la comida, y según el isótopo, las dosis beta en piel pueden ser importantes. En este caso la PAG hace las siguientes recomendaciones:

Acción de protección recomendada	PAG (dosis proyectada)	Comentarios
Reubicación de la población en general	$\geq 2 \text{ rem}(20\text{mSv})$ Primer año	Dosis Beta en la piel puede ser 50 veces superior
Aplicar técnicas simples de reducción de dosis	$< 2 \text{ rem}(20\text{mSv})$ Primer año	Reducir la dosis hasta los niveles más bajos posibles
Objetivos a largo plazo	$0.5 \text{ rem}(5 \text{ mSv})$	Un año después del primero

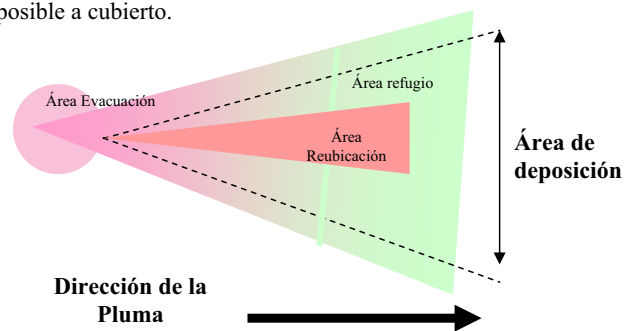
	$\leq 5\text{rem (50mSv)}$	Dosis acumulada después de 50 años
--	----------------------------	------------------------------------

Una de las reglas durante esta fase es proteger al público de la radiación depositada en los materiales (ground shine), para conseguir este objetivo, pueden tomarse medidas de relocalización de personas, descontaminación, blindajes, reducciones de tiempo de exposición, etc.

Las zonas de actuación serían las siguientes:

Prioridades:

- Proteger todas las personas afectadas por dosis capaces de causar daños en la salud.
- Establecer una estrategia de reubicación de la población.
- Recomendar técnicas simples de descontaminación y pasar el mayor tiempo posible a cubierto.



Las zonas de alta radiación hay que evacuarlas y relocalizarlas, las personas en zonas no excesivamente contaminadas, pueden permanecer en sus ubicaciones advirtiéndoles que permanezcan el mayor tiempo posible a cobijo y apliquen técnicas de autodescontaminación personal y de sus objetos.

La secuencia de actuaciones sería la siguiente:

- Identificación de las zonas de alta tasa de dosis.
- Relocalizar a las personas de esas zonas de alta tasa.
- Permitir el retorno de evacuados a zonas no contaminadas.
- Establecer las zonas de relocalización.
  - Establecer procedimientos de reducción de exposición para personas no relocalizadas.
- Establecer un programa pormenorizado de monitorización ambiental.
- Decontaminar instalaciones fundamentales y rutas.
- Comenzar las actividades de recuperación.

En las expresiones siguientes, encontramos un método manual para determinar las **dosis totales de exposición debidas a la deposición** por la inhalación del material resuspendido y a la exposición del material depositado en superficies (ground shine):

#### **Dosis Total debida a la Deposición**

$$TDP\_Dp_{E,i,T,P} = EDP_{inh,E,T,P,I} + ExDP\_Dp_{ground,E,i,TP}$$

$TDP\_Dp_{E,i,T,P}$  = Parámetro de Dosis total para la deposición en superficie (mrem·m<sup>2</sup>/μCi)

$EDP_{inh,E,T,P,I}$  = Parámetro de dosis Efectiva por inhalación (mrem·m<sup>2</sup>/μCi)

$ExDP\_Dp_{ground,E,i,TP}$  = Parámetro Dosis Externa (mrem·m<sup>2</sup>/μCi)

Para la evaluación de la dosis externa, la PAG aplica las siguientes ecuaciones que tienen en cuenta la desaparición en el medio contaminado del contaminante debido a su propia naturaleza física y efectos ambientales.

La dosis debida a la inhalación se estima mediante las siguientes ecuaciones, que tienen en cuenta los efectos de la resuspensión:

#### **Dosis de Inhalación**

$$EDP_{inh,E,I,TP} = CDF_{inh,E,i} * KP_{i,TP}$$

$EDP_{inh,E,I,TP}$  = Parámetro Dosis Efectiva (mrem·m<sup>2</sup>/μCi)

$CDF_{inh,E,i}$  = Factor de Dosis comprometida (mrem·m<sup>2</sup>/μCi)

$KP_{i,TP}$  = Parámetro de Resuspensión(s/m)

#### **6.8.3.5. La Relocalización**

En la creación de una zona de relocalización puede ocurrir:

- Relocalización de evacuados de la fase temprana
- Relocalización de personas no previamente evacuadas.
- Regreso de evacuados que residen fuera de la área de relocalización.

Para la fase intermedia, podría ser necesario crear un área de relocalización, que afectará a las personas que viven en los límites de la zona. La creación de tal área sería el resultado de tres acciones diferentes:

- Las personas que fueron evacuadas en la fase temprana, pero que residen en la área de relocalización, deben ser relocalizadas.
- Las personas que viven dentro del área de relocalización, pero que no fueron evacuadas en la fase inicial, deben ser relocalizadas ahora.
- Esas personas que fueron evacuadas durante la fase temprana, y que no viven dentro de la zona de relocalización, pueden regresar a sus casas.

#### **6.8.3.6 Control de contaminación superficial**

(Use of Soil Clean up Criteria in 40 CFR Part 192 as Remediation Goals for CERCLA sites, 1998)

Normas generales:

- No permitir que la monitorización ni la descontaminación retarden la evacuación.
- Si es necesario establecer estaciones de monitorización.
- En los centros de evacuación establecer sistemas de monitorización y descontaminación.
- Colocar a las salidas de la zona de relocalización estaciones de monitorización y descontaminación.
- Establecer monitorizaciones auxiliares en las zonas de bajo fondo.
- No pierda el tiempo intentando contener el agua contaminada.
- Estas normas son de aplicación a la fase inicial e intermedia

#### **6.8.3.7. Controles sobre el agua potable**

La PAG (Nacional Primary Drinking Water Regulations, 2000) determina unos niveles de intervención derivados (DIL) que determinaran las diferentes actuaciones de seguridad a aplicar en el agua potable sea cual fuere su origen.

##### **PAG Agua Potable**

- Agua potable → 0.5 rem (5 mSv) dosis efectiva comprometida equivalente en el primer año.
- Aplicable a agua potable de cualquier fuente.
- Después del primer año, se aplican los estándares de la EPA para agua potable.

Durante la fase intermedia, los controles se extienden no solo al agua potable de bebida si no que además incluye el agua potable con otros destinos tales como el baño, etc.

Las medidas sobre el agua de carácter general serán:

- Esperar antes de consumir y dejarla fluir.
- Suministrar raciones de agua limpia.
- Tratamiento del agua contaminada.
- Activar sistemas de suministro cercanos y limpios.
- Cerrar accesos a la red de aguas de zonas afectadas por la contaminación.
- Llevar a la zona cisternas selladas de agua limpia.
- Aportar a la zona agua embasada.

Para hacer una estimación de las dosis debidas al agua de bebida, la PAG utiliza la siguiente ecuación:

#### **Dosis proyectada de agua potable**

➤ DRLs son concentraciones de radionucleidos en agua que correspondan al PAG de 0.5 rem en el primer año (tabla de DRLs proporcionada en el manual del PAG).

$$F = \sum_i^n \frac{C_i}{DRL_i}$$

Para múltiples radionucleidos se realizan la suma de fracciones.  
Esta expresión transforma concentraciones de radionucleidos en agua en tasa de dosis.

#### **6.8.3.8. Control sobre alimentos**

La PAG establece una serie de tablas de valores para el cálculo de los DIL basados en valores suministrados por la ICRP, así establece ecuaciones para valorar estas exposiciones:

#### **Dosis proyectadas para la comida**

El PAG recomendado es 0.5 rem (5mSv) de dosis efectiva equivalente comprometida, o 5 rem (50mSv) de dosis equivalente comprometida en tejidos y órganos individuales, la que sea mas limitativa.

$$DIL = \frac{PAG}{f_x F I_x DC}$$

Esta expresión permite pasar de concentraciones en actividad en alimentos a DIL.

#### **6.8.3.9. Respuesta Fase Final**

Esta fase incluye la limpieza y reconstrucción de la zona y puede dilatarse durante años, además de la utilización de recursos que garanticen los resultados esperados que incluirían la optimización de los resultados empleados.

Así pues se podría resumir en lo siguiente:

- Restauración de la normalidad en la zona.
- Eliminación de la contaminación.
- Eliminación de la restricción de accesos.
- Finalización de los controles alimentarios.
- Vuelta de la población a sus hogares y trabajos
- .

Los factores que podrían optimizar este proceso serían:

- La naturaleza del incidente, que incluye datos sobre tamaños, contaminantes, datos de especial relevancia, etc.
- Facilidades de las técnicas de actuación, generación y eliminación de residuos.
- Efectos adversos de las labores de limpieza.
- Efectividad y permanencia de los trabajos.
- Áreas impactadas.
- Tipos de contaminación.
- Otros peligros presentes.
- Salud comunitaria.
- Riesgos ecológicos.
- Seguridad pública.
- Preservación de lugares especiales.
- Aplicación de recursos.
- Efectos económicos y sociales.

#### **6.8.4 Otras recomendaciones PAGs (Protection Action Guide, Administración Federal EE.UU)**

Si se siguen las recomendaciones de las PAGs (USEPA, 1992), se podría discutir realmente la necesidad o no de proceder a la evacuación de personas ni su confinamiento, posiblemente tampoco sería necesaria las relocalizaciones, desde el punto de vista de valoración beneficio/detrimento radiológico de la exposición, pero siguiendo estas recomendaciones, si se haría necesario el seguimiento de la situación y el dictado de normas sobre consumo de agua y comestibles en la zona contaminada, el establecimiento de programas de monitorización y en casos de descontaminación. Si es cierto lo anterior, desde la opinión del autor de esta tesis, corroborada por algunos expertos en materia de gestión de emergencias, la población difícilmente va a entender mediante justificaciones técnicas complicadas de comprender, que las administraciones involucradas no actúen de manera expeditiva, respecto por ejemplo evacuaciones, descontaminaciones, etc., así es que recomendamos una serie de actuaciones, que si bien puede que técnicamente no sean necesarias, si que las entendemos convenientes para tranquilizar al ciudadano y facilitar la vuelta a la normalidad lo mas rápida de las personas y espacios, tales medidas serían:

- Monitorizaciones de zonas y personas siguiendo un plan preestablecido, sobre todo que afectara a población más sensible.
- Monitorización de espacios/locales, sobre todo aquellos de uso público y especial trascendencia, colegios, centros sanitarios, edificios públicos, etc.
- Aplicación de técnicas de descontaminación superficial y generales en espacios concurridos y sistemas de ventilación, sin excesiva profundidad.
- Seguimiento de estrictas normas higiénicas del uso de fluidos y alimentos procedentes de la zona contaminada, sobre todo los no envasados.
- Establecimiento de un programa de vigilancia sanitaria “específica” de posibles afectados, sobre todo población mas sensible (ancianos, embarazadas, niños, enfermos, etc.)
- Paralización temporal de usos multitudinarios de zonas o locales bajo control.
- Campaña de información y relajación continuada y progresiva de la población.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**





## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Advanced Protective Shelter Design. 225 pages. ISBN: 1-886848-17-3. May 1965.
- Amor Calvo, I. Introducción a la protección radiológica en instalaciones nucleares. Curso de protección radiológica aplicada a instalaciones nucleares. Ciemat. 2000.
- Amor Calvo, I. Las recomendaciones básicas de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Curso avanzado de protección radiológica. Ciemat. 2002
- Arkin, William M. and Robert S. Norris, *The Internet and the Bomb: A Research Guide to Policy and Information About Nuclear Weapons*. April 1997.
- Baker, J.A. COR Decontamination/Contamination Control Master Plan Users' Meeting; 11–13 September 1985.
- Ballistic and Cruise Missile Threat (Amenaza de los Misiles Balísticos y Crucero), Centro Nacional de Inteligencia Aérea, NAIC-1031-0985-99 (Dayton, Ohio: Base de la Fuerza Aérea Wright-Patterson, abril de 1999).
- Beckett, B. *Weapons of Tomorrow*. New York, NY: Plenum Press; 1983.
- Bernstein, B.J. The birth of the US biological-warfare program. *Sci Am*. 1987;256:116–121.
- Brooks, F.R, Ebner, D.G, Xenakis, SN, Balson, PM. Psychological reactions during chemical warfare training. *Milit Med*. 1983;148:232–235.
- Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides (PDF) [EPA 402-R-99-001] (335pp, 3.13Mb) September, 1999
- Centers for Disease Control and Prevention. *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories*. 3rd ed. Washington, DC: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention. May 1993. HHS Publication (CDC) 93-8395.
- Chang, Ciegler A. Chemical warfare, I. Chemical Decontamination, *NBC Defense and Technical International*. 1986;1(40):60.
- Chang, M. A Survey and Evaluation of Chemical Warfare Agent Contaminants and Decontamination. Dugway Proving Ground, Utah: Defense Technical Information Center; 1984. AD-202525.
- Chemical Systems Laboratory. Summary History. Aberdeen Proving Ground, Md: Chemical Systems Laboratory; Fiscal Year 1980: 142–143, 158.
- Chemical Warfare Review Commission. Report of the Chemical Warfare Review Commission. Washington DC: Chemical Warfare Review Commission. Washington, DC: Government Printing Office; 1985: 50, 73.
- Chemical Weapons in the Middle East, *Arms Control Today*, October 1992, pp. 44-45.
- Chuck Hansen, *The Swords of Armageddon: U.S. nuclear weapons development since 1945*, (Sunnyvale, CA: Chukelea Publications, 1995).
- Cochran, Thomas B. ,William M. Arkin, Robert S. Norris and Milton M. Hoening. *Nuclear Weapons Databook Series Volume I: U.S. Nuclear Forces and Capabilities*. 1984.
- Cochran, Thomas B. ,William M. Arkin, Robert S. Norris and Milton M. Hoening. *Nuclear Weapons Databook Series Volume II: U.S. Nuclear Warhead Production*. 1987.
- Cochran, Thomas B. and Robert S. Norris, and Oleg Bukharin, *Making the Russian Bomb: From Stalin to Yeltsin*. 1995.
- Cochrane, RC. *Gas Warfare at Chateau Thierry*. Carlisle Barracks, Pa: Military

Historical Institute; July 1956. Bound typescript.

Cole, L.A. "The Specter of Biological Weapons", *Scientific American*, December 1996, pp. 30-35.

Cole, L.A. *Clouds of Secrecy: The Army's Germ Warfare Tests Over Populated Areas*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield; 1988.

Cole, RD. Heat stroke during training with nuclear, biological and chemical protective clothing: Case report. *Milit Med*. 1983;148:624-625.

Dirección General de Salud Pública (Public Health General Direction) - Conselleria de Sanitat - <http://www.sp.san.gva.es>

Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción y el almacenamiento de armas bacteriológicas (biológicas) y toxinas y sobre su destrucción, que se abrió a la firma en 1972 y entró en vigor en 1975, Anexo a la resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas nº 2826 (XXVI), en adelante "Convención".

Cook, J.E, Kolka MA, Wenger CB. Chronic pyridostigmine bromide administration: Side effects among soldiers working in a desert environment. *Milit Med*. 1992;157:159-162.

Cowdrey, A.E. Germ warfare and public health in the Korean conflict. *J Hist Med All Sci*. 1984;39:179-268. Cited in: Rolicka M. New studies disputing allegations of bacteriological warfare during the Korean War. *Milit Med*. 1995;160:97-100.

Cowdrey, A.E. *The Medics' War*. Washington, DC: Center of Military History, US Army; 1987.

CRCPD Brochure (April 2002) - CRCPD Assistance with Disposition of Unwanted Radioactive Material

Cruise Missile Capabilities: An Assessment (Capacidad de los Misiles Crucero: Una Evaluación), Centro para Estudios de Defensa y Seguridad Internacional, en línea, Internet, 1 de febrero del 2000, disponible en <http://www.cdiss.com/tabanaly.htm>.

Department of the Army. NBC Protection. Washington, DC: DA; February 1996: Chap 2. Field Manual 3-4 With Change 2. Fleet Marine Force Manual 11-9.

Department of the Army. NBC Protection. Washington, DC: HQ, DA; 1992. Field Manual 3-4.

Department of the Army. Potential Military Chemical/Biological Agents and Compounds. Washington, DC: DA; 1990. Field Manual 3-9.

Department of the Army. Technical Aspects of Biological Defense. Washington, DC: DA; 1971. Technical Manual 3-216.

Department of Homeland Security, Z-RIN 1660-ZA02. Preparedness Directorate; Protective Action Guides for Radiological Dispersal Device (RDD) and Improvised Nuclear Device (IND) Incidents.

Eckerman, K. F.; Ryman, J. C. Federal Guidance Report No. 12: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil. EPA-402-R-93-081. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; Office of Radiation and Indoor Air; 1993.

Eckerman, K.F, Wolbarst, A. B and Richardson, A. C.B. 1998, EPS-5201/1-88-020,U.S., Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Federal Guidance Report N°11, Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factor of inhalation, Submersion, and Ingestion.

Eckerman, K.F. and R.W. Leggett DCFPAK: Dose Coefficient Data File Package for Sandia National Laboratory. ORNL/TM-13347, July 31, 1996.

Eckerman, K.F, Leggett, Nelson, Puskin and Richardson. Cancer Risk Coefficient for environmental Exposure to Radionuclides. EPA 402-R-99-001.

Eitzen, Edward M. "Use of Biological Weapons (Uso de Armas Biológicas)", en *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare (Aspectos Médicos de la Guerra*

- Química y Biológica), ed. Frederick R. Sidell, Ernest T. Takafuj y David R. Franz (Washington, D.C.: Oficina del Cirujano General en TMM Publications, 1997), 446.
- EPA -520/1-88-020. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Radiation Programs; 1988.
- Evans, J.S. [Harvard School of Public Health, Boston, MA (United States)] ; Abrahmson, S. [Wisconsin Univ., Madison, WI (United States)] ; Bender, M.A. [Brookhaven National Lab., Upton, NY (United States)] ; Boecker, B.B. ; Scott, B.R. [Inhalation Toxicology Research Inst., Albuquerque, NM (United States)] ; Gilbert, E.S. [Battelle Pacific Northwest Lab., Richland, WA (United States)]. "Health effects models for nuclear power plant accident consequence analysis". Part 1, Introduction, integration, and summary: Revision 2. 1993 Oct 01. OSTI ID: 10189279; Legacy ID: TI94001451 NUREG/CR--4214-Rev.2-Pt.1; ITRI—141.
- Factfile: US Unitary and Binary Chemical Stockpiles, Arms Control Today, February 1996, p. 34.
- Fallout Shelter Design collection (2nd edition) 206 pages. ISBN: 1-886848-32-7. 1985.
- Federal Emergency Management Agency, "Federal Radiological Emergency Planning and Preparedness", in the Federal Register 47, 10758, March 1982.
- Ferrer F, Ramos M, Villaescusa JI, Verdii G, Salas MD and Cuevas MD 2005 Modelling of themammographic exposure conditions for radiological detriment study in the Valencian Breast CancerScreening Programme Rad Prot Dos 116(1-4), 396-400. European Network of Cancer Registries (ENCR) - <http://www.enrcr.com.fr/>
- Frost, R. M. (2005), Nuclear Terrorism After 9/11, Routledge for The International Institute for Strategic Studies, ISBN 0-415-39992-0
- G. F. Athey, S. A. Mcguire, J. V. Ramsdell, Jr., "RASCAL 3.0.5 Workbook," NUREG.
- Glasstone, Samuel and Dolan, Philip J. The Effects of Nuclear Weapons (third edition). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1977. Available online (PDF).
- Gripstad, B, ed. Biological Warfare Agents. Stockholm, Sweden: Swedish National Defense Research Institute; 1986.
- Grupo de Asesores de la Organización Mundial de la Salud, Aspectos de Salud de las Armas Químicas y Biológicas (Geneva, Suiza: Organización Mundial de la Salud, 1970), 98–99.
- Hansen, Chuck. The Swords of Armageddon: U.S. nuclear weapons development since 1945. Sunnyvale, CA: Chukelea Publications, 1995.
- Harigel, G. "The twin problem of warheads and their delivery vehicles. Where to put the priority during future treaty negotiations", ISODARCO Beijing Seminar, October/November 1998.
- Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2 Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, National Research Council .
- Henry DeWolf Smyth, Atomic Energy for Military Purposes (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1945). (Smyth Report).
- Hogendoorn, E.J. "A Chemical Weapons Atlas", The Bulletin of Atomic Scientists, September/October 1997, pp. 35-39.
- Holton, J.R., 2004: An Introduction to Dynamic Meteorology. Libro: 4ta ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 529 pp.
- Huxsoll, D.L. The nature and scope of the BW threat. Director's Series on Proliferation, 4. Lawrence Livermore National Laboratory, University of California;

- May 23, 1994. Report UCRL-LR-114070-4.
- ICRP 103, Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de protección Radiológica, SEPR.,ISBN. 978
- ICRP Publication 30: Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: Index, 30Annals of the ICRP Volume 8/4To order this title, and for more information, click here Edited By . International Commission on Radiological ProtectionISBN-13: 978-0-08-028884-0, ISBN-10: 0-08-028884-7, Year: 1982
- International Commission on Radiological Protection. Publication 60. Basic recommendations of the International Commission on Radiation Protection. 1990.
- Iran, Other Rogue Regimes Developing Cruise Missiles (Irán y Otros Regímenes Conflictivos Desarrollan Misiles Crucero),Ministerio de Defensa, Conduct of the Persian Gulf Conflict: Final Report to Congress (Conducción del Conflicto del Golfo Pérsico: Informe Final al Congreso, vol. 1 (Washington, D.C.: Imprenta del Gobierno de los 5. Mayo de 1999, en línea, Internet, 1 de febrero del 2000, disponible en <http://www.ourjerusalem.com/documents/febmay99/0412docs.htm>.
- K.F. Eckerman and J.C. Ryman 1993 .U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C.
- K.F. Eckerman, A.B. Wolbarst, and A.C.B. Richardson 1988 EPA-5201/1-88-20 U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C.
- Kelley, J.L. The Effects of Chemical Protective Gear, Heat and Cold on Cognitive Performance. Natick, Mass: Army Research Laboratory; July 1994. ARL-TN-36. Kelly TL. Annotated Bibliography for Gas Mask and Chemical Defense Gear Related Papers. San Diego, Calif: Naval Health Research Center; 1988. Technical Report 88-7.
- Kobrick, J.L, Johnson RF, McMenemy DJ. Effects of nerve agent antidote and heat exposure on soldier performance in the BDU and MOPP-IV ensembles. Milit Med. 1990;155:250–254.
- Manual Chapter 1303 (12/31/2002) - Requesting Emergency Acceptance of Radioactive Material by the U.S. Department of Energy (DOE)
- Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for nuclear incidents. Office of Radiations Programs United States Environmental Protection Agency. Washington D.C 20460. Revised 1991.
- Meselson, M. “The Myth of Chemical Superweapons”, The Bulletin of Atomic Scientists, April 1991, pp. 12-15.
- Mullen, E., Van Tuyle, G. and York, R. (2002) "Potential radiological dispersal device (RDD) threats and related technology", Transactions of the American Nuclear Society, 87: 309.
- NATO Handbook on the Medical Aspects of NBC Defensive Operations (Part I - Nuclear). Departments of the Army, Navy, and Air Force: Washington, D.C., 1996 .
- NATO Handbook on the Medical Aspects of NBC Defensive Operations. Department of the Army. Washington, DC: HQ, DA; AMedP-6, Part 3; 1996: 1-1. Field Manual 8-9.
- NATO Handbook on the Medical Aspects of NBC Defensive Operations. Department of the Army. Washington, DC: HQ, DA; AMedP-6(B), Part 2; 1996: 1-1. Field Manual 8-9.
- NATO Industrial Advisory Group, Sub-Group 48. North Atlantic Council, Basic Personal Equipment. Vol 5. In: NIAG Prefeasibility Study on a Soldier Modernisation Program. Brussels, Belgium: NIAG; September 1994. NATO unclassified document NAIG-D(94)3.
- NIRS servicio de información y recursos nucleares Washington DC y WISE

- servicio mundial sobre la energía Amsterdam
- Norman, J.E. Lung cancer mortality in World War I veterans with mustard-gas injury: 1919–1965. *J Natl Cancer Inst.* 1975;54:311–317.
- Petroff, D.M. (2003), "Responding to 'dirty bombs'", *Occupational Health and Safety* 72(9): 82-87.
- Preston DL et al 1996 Studies of the mortality of A.
- Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K and Kodama K 2007 Solid cancer incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958
- Pugwash workshop Moscow-Snezhinsk, "The Future of Nuclear Weapons Complexes of Russia and the USA", 8-14 September 1997, Private communication R.A. Saar, "Tracking the Dangers of Mercury" *International Herald Tribune*, November 10, 1999.
- Ramos M, Ferrer F, Villaescusa JI, Verdii G, Salas MD and Cuevas MD 2005 Use of risk projection models to estimate mortality and incidence from radiation.
- Report of a WHO Group of Consultants. Health Aspects of Chemical and Biological Weapons. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 1970.
- Rhodes, Richard. *Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb*. New York: Simon and Schuster, 1995. ISBN 0-684-82414-0.
- Rhodes, Richard. *The Making of the Atomic Bomb*. New York: Simon and Schuster, 1986 ISBN 0-684-81378-5.
- Richard Rhodes, *Dark Sun: The Making of the Hydrogen Bomb* (New York: Simon and Schuster, 1995).
- Ryman, D.H., Kelly, T.L., Englund, C.E, Naitoh, P, Sinclair, M. *Medical Aspects of Chemical and Biological Warfare.. Psychological and Physiological Effects of Wearing a Gas Mask or Protective Suit Under Non Exercising Conditions*. San Diego, Calif: Naval Health Research Center; 1998.
- S. A. Mcguire, J. V. Ramsdell, Jr., and G. F. Athey, "RASCAL 3.0.5 Description of Models and Methods," NUREG
- Seth Carus, W., *Cruise Missile Proliferation in the 1990s (Proliferación de Misiles Crucero en la Década de 1990)* (Westport, Conn.: Praeger, 1992), 15.
- Simon and Schuster, *The Road from Los Alamos*. New York 1991. ISBN 0-671-74012-1 .
- SIPRI Fact sheet, "The Chemical Weapons Convention", April 1997, reproduced in *SIPRI Yearbook 1993: World Armaments and Disarmament* (Oxford University Press Oxford, 1993), Appendix 14A, pp. 735-56
- Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling, and Use of Chemical Weapons And on Their Destruction, Summary and Text, *Arms Control Today*, October 1992, Supplement, 16 pages, and *Arms Control Today*, April 1997, pp. 15-28.
- SIPRI Yearbook 1993, *World Armaments and Disarmament*, Oxford University Press, 1993, pp. 277-281.
- SIPRI Yearbook 1999, "Chemical and biological weapons developments and Arms Control", J.P. Zanders, E.M. French, and N. Pauwels, *Armament, Disarmament, and International Security*, Oxford University Press, 1999, pp. 565-611.
- SIPRI, "Characteristics of chemical warfare agents and toxic armament wastes", in *The Challenge of Old Chemical Munitions and Toxic Armament Wastes*, Edited by Thomas Stock and Karlheinz Lohs, Oxford University Press, 1997, pp 15-34.
- Smyth, Henry DeWolf. *Atomic Energy for Military Purposes*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1945. (Smyth Report – the first declassified report by the US government on nuclear weapons).
- STANAG- NATO: 1371, 2047, 2083, 2103, 2104, 2150, 2352,2353.

- Stull, R. B., 1988: *Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Acad. Publ., 647 pp.  
The chemical strategy. *Army Chemical Review*. Jan 1988;23.  
The Manhattan Engineer District, "The Atomic Bombings of Hiroshima and Nagasaki" (1946).  
The U.S. Government's Plan for Designing Nuclear Weapons and Simulating Nuclear Explosions under the Comprehensive Test Ban Treaty. By Christopher E. Paine and Matthew G. McKinzie. August 1997.  
Tomich, N, ed. *Medicine in the Gulf War: Policy and policymakers*. *US Med*. 1991;27(15, 16):6–18.  
Trammel, G.L. Toxicodynamics of organoarsenic chemical warfare agents. In: Somani SM, ed. *Chemical Warfare Agents*. San Diego, Calif: Academic Press; 1992: 255–270.  
UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation: 1994 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York (1994).  
UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation: 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York (2000).  
U.S. Environmental Protection Agency, "National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Notice of Data Availability; Proposed Rule", in the Federal Register 65 FR 21575, April 21, 2000.  
U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Environmental Protection Agency Radiological Emergency Response Plan, EPA-402-R-00-003, January 2000.  
U.S. Environmental Protection Agency, Use of Soil Cleanup Criteria in 40 CFR Part 192 as Remediation Goals for CERCLA Sites, OSWER Directive No. 9200, 4-25, February 12, 1998.  
US Department of Defense. Potential Military Chemical/Biological Agents and Compounds. Washington, DC: Headquarters, Departments of the Army, Navy, and Air Force; 1990. Field Manual 3-9, Air Force Regulation 355-7, NAVFAC P-467.  
US War Department. Characteristics and Employment of Ground Chemical Munitions. Washington, DC: War Department; 1946: 108–119. Field Manual 3-5.  
User's Guide for the Industrial Source Complex ISC3 Dispersion Models. Volume I. EPA- 454/B-95-003a. September 1995.  
Van Keuren, R.T. *Chemical and Biological Warfare, An Investigative Guide*. Washington, DC: Office of Enforcement, Strategic Investigations Division, US Customs Service; 1990.  
Wallace, J. M. and P. V. Hobbs, 2006: *Atmospheric science: an introduction survey*. 2sa ed. Libro. Amsterdam: Elsevier Academic Press. 483 pp.

## **TRABAJOS REALIZADOS POR EL AUTOR**

- 1** Tratamiento de residuos radiactivos líquidos de las instalaciones sanitarias mediante la técnica de membranas.
- 2** La Gestión de Emergencias en Instalaciones Radiactivas.
- 3** Papel del Glutathion sanguíneo como índice temprano del efecto biológico de las radiaciones ionizantes.
- 9** Programme of formation in Radiation Protection in the SVS.
- 11** La Encomienda de Funciones del CSN a las Comunidades Autónomas
- 14** Protocolo de Dosimetría Ambiental en las instalaciones radiactivas.
- 15** Sistema de control en tiempo real y diferido de las explotación de las instalaciones de Rx.
- 17** El control radiológico en la Comunidad Valenciana.
- 18** Control of individual dose for occupational exposure for the workers of the SVS
- 19** La creación de un servicio de reconocimientos médicos para el personal profesionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes.
- 20** Los problemas hidrodinámicos y químicos de los vertidos contaminados de las instalaciones radiactivas a las redes de sumideros públicos.
- 21** La creación de un servicio de Protección Radiológica.
- 22** La problemática y planificación asociada al transporte de materiales radiactivos.
- 23** Una somera consideración de las fuentes productoras de radiaciones ionizantes en los planes locales de Protección Civil.
- 25** La teletermografía.
- 8** La aplicación del cálculo de probabilidades en los estudios de seguridad y planes de emergencia de las instalaciones radiactivas.
- 29** La inestabilidad de los productos radioquímicos.
- 30** Las Memorias de Puesta en Marcha de las instalaciones de Rx.
- 31** La radiactividad y sus consecuencias.
- 32** Protocolo de reconocimientos médicos para el personal profesionalmente expuesto a las radiaciones
- 34** Los radiofármacos.
- 35** La vigilancia radiológica en los municipios.
- 36** Estimación de consecuencias de un vertido y evaporación accidental de un Radionucleido en un laboratorio de radioquímica
- 37** Diseño de protecciones estructurales en instalaciones de TAC.
- 38** La filosofía de la OMS para el establecimiento de normas de Protección Radiológica.
- 39** Las instalaciones de Rx de usos médicos y las legislación del Estado en materia de Protección.
- 41** La Protección Radiológica en los Centros Sanitarios.
- 42** La respuesta municipal frente a la publicación del Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes.
- 43** Transportes Radiactivos por zonas urbanas.
- 44** El Plan de Protección Radiológica del Ayuntamiento de Alicante.
- 45** Consecuencias de la firma de la Convención para el control de las armas químicas

Lugares donde se han expuesto los trabajos anteriores

- 1 Congreso Hispano-Luso de Protección Radiológica, abril de 1994
- 2 Congreso Nacional Sociedad Nuclear Española, septiembre de 1994
- 3 Revista de la Sociedad Española de Protección Radiológica, volumen IV, 1996
- 4 Congreso Hispano-Luso de Protección Radiológica, abril de 1994
- 5 European Congress of Médical Physics, septiembre de 1993
- 6 Congreso Hispano-Luso de Protección Radiológica, abril de 1994
- 7 European Congress of Médical Physics, septiembre de 1993
- 8 Publicaciones de la Consejería de Sanidad del Gobierno Autónomo de Valencia
- 9 International Conference "Harmonization in Radiation Protection", octubre de 1993
- 10 International Conference "Harmonization in Radiation Protection", octubre de 1993
- 11 Congreso Hispano-Luso de Protección Radiológica, abril de 1994
- 12 Congreso Internacional sobre radiactividad ambiental en el Area del Mediterraneo
- 13 Congreso Anual Sociedad Nuclear Española, octubre de 1993
- 14 Publicaciones de la Consejería de Sanidad del Gobierno Autónomo de Valencia
- 15 Congreso Nacional de Protección Radiológica (Toledo-España)
- 16 Congreso Nacional de Física Medica, septiembre de 1987
- 17 Congreso Nacional de Protección Radiológica (Toledo-España)
- 18 Congreso Internacional sobre radiactividad ambiental en el Area del Mediterraneo
- 19 International Conference "Harmonization in Radiation Protection", octubre de 1993
- 20 Congreso Nacional de Protección Radiológica, febrero de 1985
- 21 Congreso Nacional de Protección Radiológica (Toledo-España) Congreso Nacional de Física Medica, septiembre de 1987 Revista Tecnología del Agua, editorial Prensa XXI SA.
- 22 Congreso Nacional de Protección Radiológica, febrero de 1985
- 23 Jornadas Técnicas del Ministerio de Sanidad, Gobierno Español, marzo 1987
- 24 Revista Puntex, Publicaciones Internacionales, diciembre de 1985
- 25 Revista Cuadernos de Protección Civil, Ministerio del Interior (Gobierno Español)
- 26 Universidad de Valencia
- 27 Congreso Nacional de Protección Radiológica (Toledo-España) International Radiation Protection Association-SEPR Reunión del 25 noviembre de 1986 Simposio Internacional de Ingeniería Biomédica, octubre de 1987 Congreso Nacional de Protección Radiológica (Toledo-España)
- 30 Simposio Nacional de Laboratorios e Institutos Municipales de Saulud, noviembre de 1985
- 31 Congreso Nacional de Protección Radiológica, febrero de 1985
- 32 Revista Cuadernos de Protección Civil, Ministerio del Interior (Gobierno Español)
- 33 International Radiation Protection Association-SEPR Reunión del 25 noviembre de 1986
- 34 Congreso Iberoamericano de Oncología, noviembre de 1985



- 35 Simposio Nacional de Laboratorios e Institutos Municipales de Salud, noviembre de 1985
- 36 Simposio Nacional de Laboratorios e Institutos Municipales de Salud, noviembre de 1985
- 37 Congreso Nacional de Física Médica, Octubre de 1985
- 38 Congreso Nacional de Física Médica, Octubre de 1985
- 39 International Radiation Protection Association-SEPR Reunión de enero de 1986
- 40 Revista Cuadernos de Protección Civil, Ministerio del Interior (Gobierno Español)
- 42 Publicado por el Colegio Oficial de Diplomados Universitarios en Enfermería de Alicante Documentación y publicaciones del Ayuntamiento de Alicante
- 43 International Radiation Protection Association-SEPR Reunión de febrero de 1984
- 44 Documentación y publicaciones del Ayuntamiento de Alicante
- 45 Documentación y publicaciones del Ayuntamiento de Alicante
- 46 Revista Española de Física.