

TRABAJO FINAL INTEGRADOR PARA EL  
CURSO DE CAPACITACIÓN EN  
METEOROLOGÍA



AGENTES QUÍMICOS, BACTERIOLÓGICOS Y  
NUCLEARES (QBN) Y LA ATMÓSFERA.

AUTOR: TCCDNA Alejandra Beatriz Acosta

TUTOR: CCCDEJ Álvaro Santiago Scardilli

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	Error! Bookmark not defined.
DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES.....	Error! Bookmark not defined.
ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA.....	Error! Bookmark not defined.
Condiciones inestables .....	Error! Bookmark not defined.
Condiciones neutrales .....	Error! Bookmark not defined.
Condiciones estables .....	Error! Bookmark not defined.
Estabilidad e inestabilidad condicional.....	Error! Bookmark not defined.
INVERSIONES TÉRMICAS.....	Error! Bookmark not defined.
ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LA PLUMA ....	Error! Bookmark not defined.
AGENTES QUÍMICOS .....	Error! Bookmark not defined.
Vapores .....	Error! Bookmark not defined.
Aerosoles .....	Error! Bookmark not defined.
Líquidos.....	Error! Bookmark not defined.
Estabilidad Atmosférica .....	Error! Bookmark not defined.
Concentración de Vapores y Difusión .....	Error! Bookmark not defined.
VAPORES Y AEROSOLES .....	Error! Bookmark not defined.
Viento .....	Error! Bookmark not defined.
Temperatura .....	Error! Bookmark not defined.
Humedad .....	Error! Bookmark not defined.
Precipitación .....	Error! Bookmark not defined.
Contornos Del Terreno .....	Error! Bookmark not defined.
Cobertura De La Superficie .....	Error! Bookmark not defined.
LÍQUIDOS .....	Error! Bookmark not defined.
Velocidad del viento .....	Error! Bookmark not defined.
Estabilidad, altura de la capa de mezcla y temperatura.....	Error! Bookmark not defined.
Precipitación .....	Error! Bookmark not defined.
Topografía .....	Error! Bookmark not defined.
Suelo .....	Error! Bookmark not defined.
AGENTES BIOLÓGICOS.....	Error! Bookmark not defined.
Diseminación.....	Error! Bookmark not defined.
EFFECTOS CLIMÁTICOS.....	Error! Bookmark not defined.
Estabilidad del aire .....	Error! Bookmark not defined.

Temperatura .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Humedad relativa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Contaminantes .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Cobertura de la nube.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Precipitación .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
INFLUENCIAS DEL TERRENO.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Suelo y vegetación.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DETONACIONES NUCLEARES .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
RADIACIÓN NUCLEAR .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Precipitación .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Velocidad Y Dirección Del Viento .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Nubes y densidad del aire.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Contornos del terreno .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
TIPO DE OPERACIÓN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Operaciones en clima frío .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Operaciones en el desierto .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Operaciones de montaña en tierra y áreas de recolección. ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
EXPLOSIÓN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Clima .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Condiciones de la superficie .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Topografía .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Operaciones en climas fríos .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
RADIACIÓN TÉRMICA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Clima .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Terreno .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Altura de la explosión .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tipo de operación.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Operaciones en climas fríos .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ANÁLISIS FINAL.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BIBLIOGRAFÍA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## RESUMEN

El campo de estudio de los agentes químicos, bacteriológicos y nucleares (QBN) no está estudiado en gran profundidad como lo están otros campos. Sin embargo, eventos sucedidos a lo largo de la historia, y experimentos realizados, permitieron entender mejor el comportamiento de los distintos agentes en el campo de batalla, al ser afectado tanto por las variables meteorológicas, como por el terreno, la vegetación, la topografía, entre otros. En el desarrollo del trabajo veremos cómo estos, afectan a los distintos agentes en su concentración, dispersión y dilución, y así poder determinar el grado de efectividad que estos tendrán sobre el objetivo enemigo.

## INTRODUCCIÓN

Como bien es sabido hoy en día el desarrollo, posesión, adquisición, transferencia o utilización de armas de destrucción masiva ADM (armas químicas, bacteriológicas y nucleares QBN) en un conflicto armado, tanto por actores estatales como no estatales está prohibida, así como condenado ampliamente por el mundo civilizado.

Lo cierto es que, el riesgo de un incidente con sustancias químicas, ya sea accidental o no, representa un desafío no solo para la comunidad internacional en virtud de que pone en riesgo la paz y la seguridad internacional, sino que también representa una amenaza real para nuestro gobierno, por sus potenciales consecuencias hacia la población, la economía del país y nuestro medio ambiente. La respuesta del sistema nacional dependerá de una adecuada preparación y capacitación de los distintos recursos técnicos, una planificación realista contra esta posible problemática y una correcta coordinación entre los distintos entes responsables de las diferentes áreas.

Asimismo, como fuerza armada es necesario el conocimiento sobre este tipo de armas, como defendernos, pero sobre todo como protegernos de los efectos sumamente destructivos que se pueden extender de manera indiscriminada tanto sobre objetivos militares como civiles, haciendo hincapié en el adiestramiento del recurso humano en el empleo de los diferentes medios con los que se cuentan actualmente y una conciencia plena de lo que implica enfrentarse a este tipo de armas y como protegerse ante un inminente ataque QBN.

Por lo tanto, es importante el conocimiento sobre el comportamiento de nuestra atmosfera, ya que esta juega un rol muy importante a la hora de dispersar los distintos agentes que pueda generar el empleo de armas QBN.

En una escala mundial, las variaciones de los distintos fenómenos atmosféricos influyen sobre el movimiento de las distintas masas de aire, que, a su vez, movilizan a los distintos agentes contaminantes. La dispersión de estos depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana, causada por los vientos predominantes a nivel global, aunque en un nivel más local, los movimientos horizontales y verticales de las masas de aire, la estabilidad y las condiciones topográficas también afectan el transporte y dispersión de dichos contaminantes, pudiendo estos tener un mayor alcance de afectación.

Entender cómo responden los agentes QBN a las distintas variables meteorológicas, nos ayuda a definir cuáles serán los factores críticos que el comando tendrá en cuenta al momento de planear tanto una operación ofensiva como defensiva, disminuyendo o anulando los efectos que estas armas puedan ocasionar a la fuerza propia, o usándolos a favor para abatir o disminuir la fuerza enemiga.

## DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

Siendo la atmosfera el medio en el cual se dispersan las partículas liberadas al ambiente, el estudio de sus propiedades y variaciones es de primordial importancia para determinar el grado de incidencia que pueden llegar a tener los distintos contaminantes en la población.

Las turbulencias dinámicas y térmicas, y la velocidad y dirección del viento son unos de los factores que contribuyen a la difusión atmosférica de los distintos agentes. La turbulencia local es la que influye mayormente sobre la inmediata dispersión de los aerosoles emitidos a la atmosfera. La turbulencia atmosférica no es fácilmente medible en forma directa, pero sí a través de ciertos parámetros meteorológicos entre los que se encuentra la velocidad del viento, el perfil vertical de dicha velocidad y el gradiente vertical de temperatura (el cual es responsable de la difusión vertical y está directamente relacionado con la estabilidad atmosférica).

Entre las causas que pueden crear turbulencia dinámica se pueden citar el rozamiento del aire con el suelo, su canalización a través de obstáculos y la convergencia de masas de aire.

El proceso de difusión de partículas en la atmósfera ha sido estudiado por diferentes autores. Los modelos matemáticos más conocidos corresponden a O.G. Sutton y F. Pasquill. A partir de ellos es posible calcular la concentración media de contaminantes en el aire, en función de su caudal de emisión, de la velocidad y dirección del viento, de la estabilidad y de la turbulencia atmosférica, de la altura de emisión y del perfil vertical del viento.

La experiencia indica que para condiciones térmicas neutrales estos modelos tienen un buen grado de aproximación, pero para condiciones de fumigación los valores observados, en algunos casos, son de un

orden de magnitud menor que los pronosticados. Como normalmente las fuentes emisoras se centran en zonas edificadas, las características de la difusión son modificadas por las estructuras edilicias. En general se considera que los dos modelos y sus correcciones pueden ser aplicados con una aproximación de alrededor de un uno por ciento.

## ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

El grado de estabilidad atmosférica se determina a partir de la diferencia de temperatura entre una parcela de aire y el aire circundante. Este contraste puede causar el movimiento vertical de la parcela o no, y se caracteriza por cuatro condiciones básicas que describen la estabilidad general de la atmósfera. En condiciones estables, el movimiento vertical se inhibe, mientras que en condiciones inestables la parcela de aire tiende a moverse continuamente hacia arriba o hacia abajo. Las condiciones neutrales no propician ni inhiben el movimiento del aire después del gradiente de calentamiento o enfriamiento adiabático. Cuando las condiciones son extremadamente estables, el aire frío cercano a la superficie permanece allí, envuelto por una capa de aire cálido sobre este. Esta condición, denominada inversión, prácticamente impide la circulación vertical del aire. Estas condiciones están directamente relacionadas con las concentraciones de contaminantes en el aire ambiental.

### Condiciones inestables

La parcela de aire que inicia su ascenso disminuirá su temperatura según el gradiente adiabático seco hasta que el momento en que alcance su punto de rocío. A partir de allí se enfriará según el gradiente adiabático húmedo. Esto supone que la temperatura del aire circundante tiene un gradiente vertical mayor que el gradiente vertical adiabático (con un enfriamiento a más de  $9,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/1.000 \text{ m}$ ), de modo que la parcela que asciende seguirá siendo más cálida que el aire circundante. Como se

muestra en la figura 1, la diferencia de temperatura es marcada conforme asciende la parcela.

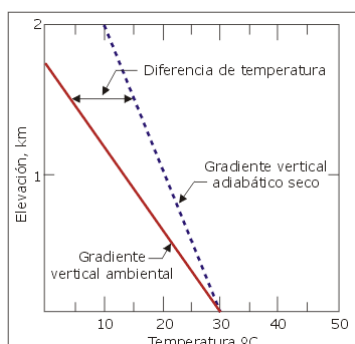


Figura 1. Condición de inestabilidad

El ascenso que sufre la parcela a causa de la diferencia de temperatura, provoca que aire más frío ocupe su lugar. Si la temperatura de la superficie es alta, este aire se va a calentar, va a ascender y nuevamente aire más frío va a ocupar su lugar, repitiéndose así el proceso antes mencionado. Esta condición da como resultado circulación vertical en ambas direcciones, produciéndose una mezcla vertical considerable, generando turbulencia en esa capa.

El grado de inestabilidad va a depender de la importancia en las diferencias entre los gradientes verticales ambientales y los adiabáticos secos.

Las condiciones inestables más comunes se producen durante los días soleados con vientos de bajas velocidades y fuerte insolación. La Tierra absorbe rápidamente el calor y transfiere parte de éste a la capa de aire en contacto con la superficie terrestre. Si las propiedades térmicas de la superficie son uniformes, es posible que exista una masa flotante de aire, o numerosas porciones de aire si dichas propiedades varían. Cuando el aire se calienta, se vuelve menos denso que el aire circundante y se eleva.



Otra condición que puede conducir a la inestabilidad atmosférica es la producción de ciclones (sistema de presión baja), caracterizados por aire ascendente, nubes y precipitación.

### Condiciones neutrales

Esto se puede apreciar cuando la temperatura de la parcela de aire es igual a la temperatura del aire circundante. Por lo que los movimientos verticales se van mantener neutrales, respondiendo a estímulos, pero sin que la parcela de aire continúe su ascenso ni que esta vuelva a su posición inicial. Es importante porque constituye el límite entre las condiciones estables e inestables. Se produce durante los días con viento o cuando una capa de nubes impide el calentamiento o enfriamiento fuerte de la superficie terrestre. Esto se puede apreciar en la figura 2.

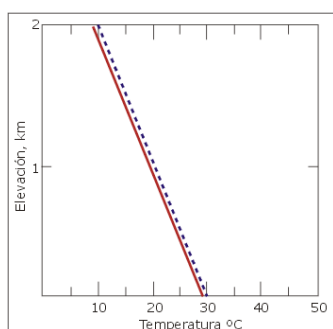


Figura 2. Estabilidad neutra

### Condiciones estables

Cuando la temperatura de la parcela de aire es menor que la del aire circundante, se inhiben los movimientos verticales. Cuando la parcela es forzada a ascender, al permanecer más fría que el aire circundante, y por consiguiente más densa, tenderá a regresar a su posición de equilibrio, una vez que cese la fuerza que la obligó a ascender. Las

condiciones estables se producen durante la noche, cuando el viento es escaso o nulo.

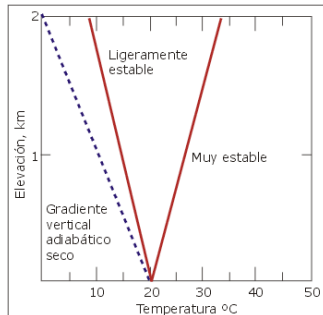


Figura 3. Condiciones de estabilidad

### Estabilidad e inestabilidad condicional

Esto se produce en el caso de la variación en la disminución de la temperatura conforme la parcela asciende. Inicialmente lo hace según el gradiente vertical adiabático seco, cuando eventualmente alcanza su punto de rocío y se satura, continua su ascenso según el gradiente vertical adiabático húmedo, en el cual la disminución de la temperatura con la altura es menor. Este cambio en su de enfriamiento puede modificar las condiciones de estabilidad. La inestabilidad condicional se produce cuando el gradiente vertical ambiental es mayor que el gradiente vertical adiabático húmedo pero menor que el gradiente seco. en la figura 4 se ilustra esta situación. Las condiciones estables se producen hasta el nivel en el que la parcela condensa y las inestables, sobre este.

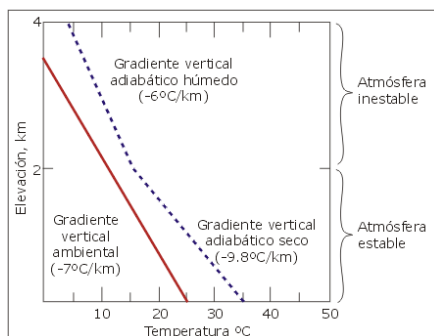


Figura 4. Condiciones de estabilidad e inestabilidad condicional.

## INVERSIONES TÉRMICAS

Esta situación se da cuando la temperatura, en vez de disminuir con la altura, aumentan. Esto es común y se da en una capa relativamente superficial.

Un claro ejemplo son las inversiones radiativas. Es el tipo más común de inversión superficial y se produce por un rápido enfriamiento de la superficie terrestre. El aire circundante, al estar en contacto con esta, también se enfría. Si su temperatura es menor que la del aire por encima de ella, se producirá una condición de estabilidad, inhibiendo los movimientos verticales. Generalmente se producen desde las horas finales de la tarde hasta las primeras de la mañana, con cielo despejado y poco viento. Las condiciones que propician las inversiones nocturnas por enfriamiento radiativo, determinan la inestabilidad durante el día, aunque esta vez, por calentamiento radiativo. Los ciclos de estabilidad e inestabilidad a lo largo del día son relativamente comunes y de corta duración. La siguiente figura muestra el ciclo diurno.

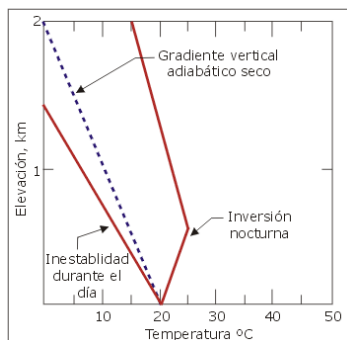


Figura 5. Avance de las condiciones de estabilidad conforme avanza el día.

## ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LA PLUMA

En cuanto a la dispersión de los contaminantes, la estabilidad atmosférica y la altura de la capa de mezcla, tienen un importante efecto en las concentraciones de estos. El movimiento horizontal del aire (viento) juega un papel importante, ya que, los contaminantes que no se pueden dispersar hacia arriba, lo van hacer horizontalmente, siempre y cuando haya presencia de viento. La combinación de estos movimientos verticales y horizontales del aire influyen en el comportamiento de las plumas desde fuentes puntuales.

Otros factores a tener en cuenta, que afectan a los distintos contaminantes son la temperatura, la humedad y la precipitación. La influencia de cada variable va a depender de la situación sinóptica y está influenciada localmente por la topografía, la vegetación y el suelo

**Pluma de espiral**, (según muestra la figura 6) cuando se produce en condiciones de mucha inestabilidad, dominando en una capa los movimientos de ascenso y descenso del aire, generando un efecto de giro, el cual termina formando una espiral conforme avanza. Este movimiento del aire, si tiende a ir hacia la superficie, puede generar altas concentraciones momentáneas a nivel del suelo.

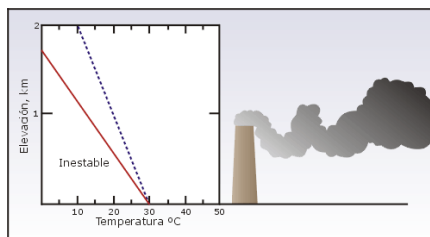


Figura 6. Pluma en espiral

**La pluma de abanico** (según muestra la figura 7) este tipo de pluma se pueden observar durante las primeras horas de la mañana debido a las condiciones de estabilidad que predominan a esa hora, causada por el enfriamiento radiativo nocturno. Esta inversión térmica inhibe los movimientos verticales de la pluma, aunque no impiden su desplazamiento horizontal, por lo que se extenderá hasta alcanzar varios kilómetros a sotavento de la fuente.

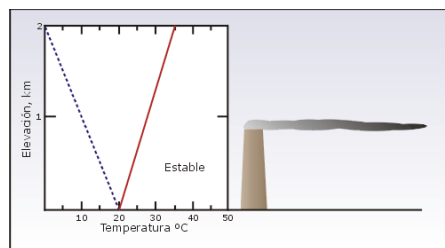


Figura 7. Pluma de abanico

**La pluma de cono** (según muestra la figura 8) Estas plumas suelen verse en días nublados o soleados, entre la interrupción de una inversión por radiación y el desarrollo de condiciones diurnas inestables y es mayormente característica de las condiciones neutrales o ligeramente estables.

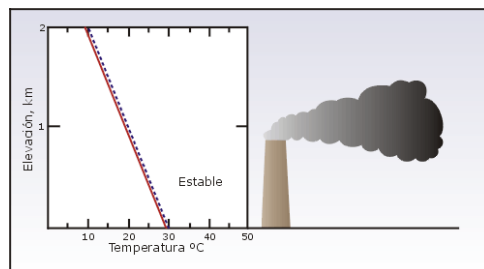


Figura 8. Pluma de cono

En lo que a dispersión de contaminantes se refiere, la presencia de una capa de inversión, actúa como un techo para la mezcla vertical y puede influir fuertemente en la concentración de los contaminantes a nivel de

superficie. Aunque si sobre ella hay condiciones de inestabilidad, y un agente es lanzado sobre la capa estable, la dispersión de estos va a ser más efectiva, sin llegar a grandes concentraciones de contaminantes a nivel de superficie o cerca de la fuente de lanzamiento. Como se muestra en la figura 9.

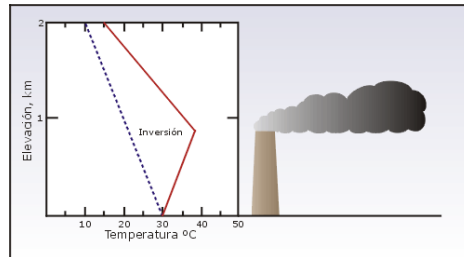


Figura 9. Techo de la inversión.

Cuando me encuentro bajo condiciones de inversión o estabilidad, conforme avanzan las horas del día y se calienta la superficie terrestre, empiezan a aparecer movimientos verticales que van empezando a inestabilizar dicha capa. Un contaminante que es lanzado dentro de esta capa de inversión, al ser alcanzado por estos movimientos verticales, tiende a llegar a la superficie.

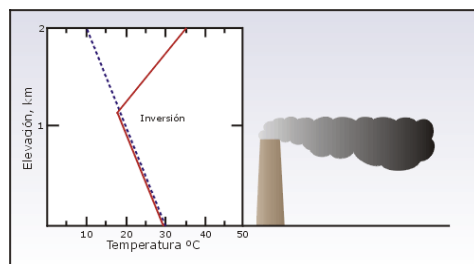


Figura 10. Capa de inestabilidad en cerca de la superficie

## AGENTES QUÍMICOS

Estos agentes pueden aparecer en el campo en diferentes formas: vapores, aerosoles o líquidos. Para comprender el impacto de estos agentes en el campo de batalla, el soldado también debe saber cómo estos se ven afectados tanto por el clima, como por el terreno.

### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Los vientos transportan vapores y partículas pequeñas, mientras que las partículas grandes y las gotas líquidas caen en una trayectoria balística y se depositan rápidamente en el suelo. Muchos agentes emiten vapores que forman nubes de vapor. La velocidad a la que un agente emite dichos vapores se llama *volatilidad*. Los agentes se pueden eliminar naturalmente del aire al precipitar por gravedad (las partículas grandes se caen mucho más rápidamente), al pegarse al suelo o la vegetación, o al eliminarse por precipitación. Una vez depositados sobre la vegetación u otra cubierta del suelo, los agentes volátiles pueden volver a liberarse a la atmósfera para ciclos de viaje adicionales y presentar un peligro hasta que estén suficientemente diluidos o descontaminados.

Durante aproximadamente los primeros 30 segundos, el tamaño y el recorrido de un agente están determinados principalmente por la característica de la munición o sistema de lanzamiento. A partir de entonces, el viaje y la difusión de la nube de agentes están determinados principalmente por el clima y el terreno.

#### Vapores

Cuando un agente químico se disemina como un vapor luego de la detonación de una munición de explosión, inicialmente la nube se

expande, se vuelve más fría y más pesada, y tiende a retener su forma. Si la densidad de vapor del agente liberado es menor que la densidad del aire, la nube se eleva con bastante rapidez, se mezcla con el aire circundante y se diluye rápidamente. Si el agente forma un gas denso (la densidad de vapor del agente liberado es mayor que la densidad del aire), la nube se aplana, se hunde y se desplaza sobre la superficie de la tierra. En general, el crecimiento de la nube durante los primeros 30 segundos depende más de la munición o del sistema de que se usa para su lanzamiento que de las condiciones meteorológicas circundantes. Sin embargo, la altura a la que finalmente se eleva la nube depende de la temperatura del aire y la turbulencia. Estos determinan la cantidad de aire ambiente más frío que ingresa a la nube caliente (y, por lo tanto, determina su velocidad de enfriamiento). La concentración de los agentes está influenciada tanto por la cantidad de agentes liberados y por la velocidad de lanzamiento de estos, como por las condiciones meteorológicas existentes. Poco después de la liberación, la nube de agentes asume la temperatura del aire circundante y se mueve en la dirección y a la velocidad de este. Esta nube química está sujeta a las fuerzas de turbulencia del aire, que tienden a estirla, desgarrarla y diluirla. Cuanto más pesado es el agente, más tiempo la nube conserva su integridad. En condiciones de baja turbulencia, la nube recorre grandes distancias con poca disminución en la concentración de vapores del agente químico. Aunque a medida que aumenta la turbulencia, la nube se diluye o se disipa más rápidamente.

### Aerosoles

Son sustancias líquidas y / o sólidas finamente divididas, suspendidas en la atmósfera, y se comportan de la misma manera que los agentes vaporizados. Inicialmente, las nubes de aerosol formadas por explosivos o municiones térmicas tienen una temperatura más alta que las nubes formadas por otros tipos de municiones. Esto puede causar un



crecimiento inicial de la nube en el punto de lanzamiento. Las nubes generadas por aerosoles son más pesadas que las nubes de vapor, están menos influenciados por las turbulencias y tienden a retener sus formas y asentarse nuevamente en la superficie. Sin embargo, a medida que las nubes viajan a favor del viento, la gravedad deposita las partículas más grandes y pesadas en el suelo. Muchas de estas se adhieren a las hojas y a otras superficies vegetativas con las que entran en contacto.

### Líquidos

Los agentes químicos del tipo líquido pueden ser absorbidos (empapando una superficie), adsorbidos (adheridos a una superficie), y evaporarse. Y una vez que el líquido ya no está presente en la superficie, comienza la desorción<sup>1</sup>.

Los agentes líquidos, se evaporan bajo ciertas condiciones y dependiendo de la volatilidad. Las nubes de vapor son generalmente de baja concentración, tienen aproximadamente la misma temperatura que el aire circundante y tienden a permanecer cerca de la superficie debido a su alta densidad. Esto, además gobierna el grado en que el vapor se mezclará con el aire. Los agentes líquidos de alta densidad impactan a nivel del suelo con muy poca evaporación y se denominan *agentes persistentes*. Las concentraciones iniciales son bajas, ya que la fuente de vapor no es instantánea como lo es un agente de vapor, sino que evoluciona durante un largo período (hasta que la fase de líquido se haya acabado).

La concentración de vapor sobre áreas contaminadas con un agente líquido tiende a ser menor que con las nubes de vapor recién formadas,

---

<sup>1</sup> Fenómeno por el cual un gas abandona un sólido cuando este alcanza cierta temperatura.

y las concentraciones de agente a favor del viento no son tan grandes como con otros tipos de agentes.

### Estabilidad Atmosférica

El grado de dispersión, la velocidad del viento en nudos y su dirección son los datos meteorológicos más importantes para decidir la influencia del clima en la dispersión de las nubes de vapor.

Uno de los factores clave en el uso de armas químicas es la determinación de la condición de estabilidad atmosférica que existirá en el momento del ataque y las variaciones de la velocidad del viento ya que indicarán cual va a ser la dispersión de una nube de vapor. Esta determinación puede hacerse a partir de un informe meteorológico o mediante la observación de las condiciones del campo. dicho informe se debe contener una descripción de la condición de estabilidad atmosférica actual y proyectada, basándonos en información climatológica y de tiempo presente.

Las condiciones inestables causarán concentraciones más bajas y / o una cobertura sobre el objetivo más pobre. Las condiciones estables causarán una mayor estabilidad del agente y concentraciones más altas. Aunque para cualquier categoría de dispersión dada, una velocidad del viento más baja producirá dosis más altas, una cobertura de área más pequeña y, en consecuencia, mayores efectos tóxicos. Esto se debe a que cuando la velocidad del viento es más baja, la nube se mueve más lentamente en el área objetivo y, en consecuencia, este permanecerá en contacto con la nube más tiempo, siendo afectado por una dosis más alta del agente. Aunque dicha dosis disminuiría si el objetivo se moviera a través del área de peligro de la nube a favor del viento. Otros factores como la toxicidad del agente, la vulnerabilidad del objetivo y la cantidad del agente liberado determinarán las dosis reales, las víctimas y otros efectos. Pero para una mayor efectividad es muy importante tener en

cuenta, además de las condiciones de estabilidad, que el agente debe liberarse más a favor del viento, de manera tal de poder compensar la deriva que pueda tener este a medida que desciende. Y saber que el ancho de la nube depende del grado de dispersión y no directamente de la velocidad del viento.

### Concentración de Vapores y Difusión

La concentración del agente va a estar dada por el volumen de la nube, ya que, al expandirse, los niveles de concentración del agente disminuirán con el tiempo. La velocidad del viento determinará el crecimiento que va a tener, siempre que esté a favor de este, y la turbulencia vertical y horizontal determina su altura y el ancho. La velocidad a la que se expanden los componentes a favor del viento, gobierna el volumen de la nube y la concentración de dicho agente.

La concentración y difusión de una nube de agentes químicos también están influenciadas por los factores de hidrólisis, absorción, adsorción, propagación lateral, efecto de arrastre y elevación vertical.

La hidrólisis es el proceso en el que el agente reacciona con el vapor de agua en el aire. Esto no influye tanto en el uso táctico porque la tasa de hidrólisis es demasiado lenta. Sin embargo, la hidrólisis puede ser importante para las pantallas de humo<sup>2</sup> por ejemplo.

La adsorción<sup>3</sup> es importante cuando la vegetación es densa, ya que tanto la absorción como la adsorción de agentes químicos pueden matar la vegetación, defoliando así el área donde se produjo la liberación.

---

<sup>2</sup> Vea la discusión sobre el efecto de la humedad en el aumento de la efectividad de la pantalla de humo en el Capítulo 2

<sup>3</sup> Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

Cuando se libera una nube química en el aire, las corrientes cambiantes y la turbulencia horizontal la llevan de un lado a otro<sup>4</sup>. Mientras esto ocurre, la nube de agentes se extiende lateralmente, a lo que llamamos *difusión lateral*. En condiciones más inestables, la extensión lateral tiende a ser mayor que en condiciones estables.

La cortante vertical de viento (en la cual se puede apreciar que la velocidad del viento aumenta con la altura), hace que las corrientes de viento transporten nubes químicas a lo largo del suelo con un movimiento ondulante. Además, la fricción causada por el suelo, junto con la interferencia de la vegetación y otros objetos, hace que la base de la nube de agentes se retarde a medida que la nube se extiende en longitud. Cuando se liberan nubes en el suelo, el arrastre representa aproximadamente el 10 por ciento del crecimiento vertical a lo largo de la distancia recorrida sobre el césped, la tierra arada o el agua. Ascende a alrededor del 20 por ciento sobre terreno suavemente ondulado cubierto de arbustos, cultivos en crecimiento o pequeños parches de madera dispersa. En maderas pesadas, el efecto de arrastre aumenta considerablemente.

La velocidad del viento puede variar a diferentes alturas, como así también su dirección, esto se conoce como *cizalladura del viento*. Esto causa que una nube (o nube química) pueda estirarse en la dirección del viento y puede viajar en una dirección diferente a la del viento en la superficie. Además, una nube química liberada en el aire puede transportarse más rápido de lo que puede difundirse hacia abajo. Como resultado, el aire cerca del suelo en el borde delantero de la nube, puede no estar contaminado, mientras que el aire que se encuentra a unos pocos pies puede estar muy contaminado. Este efecto de capas se vuelve más pronunciado y aumenta proporcionalmente con la distancia entre borde delantero de la nube y la fuente.

---

<sup>4</sup> Este movimiento del aire se llama *meandros*

El crecimiento vertical de una nube química depende de variables climáticas, como el gradiente de temperatura, la velocidad del viento y la turbulencia, y la diferencia entre las densidades de las nubes y el aire circundante. Los gases más calientes son menos densos y, por lo tanto, más livianos que los gases y el aire más fríos. Por lo cual, se elevan hasta que se mezclan, se diluyen un poco y alcanzan la misma temperatura y aproximadamente la misma densidad que el aire circundante.

## VAPORES Y AEROSOLES

El viento, la temperatura, la humedad, la precipitación, los contornos del terreno y la cubierta de la superficie influyen en el comportamiento del campo de los vapores y aerosoles.

Si se va a colocar una nube química directamente en un área ocupada, las mejores condiciones climáticas posibles son vientos tranquilos con un gradiente de temperatura fuerte y estable. En estas condiciones, la nube se difunde sobre el objetivo con una dilución mínima y no se aleja. Tales condiciones son más propensas a ocurrir en una noche tranquila y clara. Si se requiere una pequeña cantidad de movimiento de aire para extender la nube uniformemente sobre el área objetivo, una velocidad baja del viento y condiciones estables o neutrales son más favorables. Estas condiciones ocurren con mayor frecuencia en una noche despejada, una noche nublada o un día nublado.

Cuando el efecto deseado es que la nube química viaje, las condiciones más favorables son condiciones estables o neutrales con una velocidad del viento baja a media de 3 a 7 nudos. Estas condiciones también pueden estar presentes en una noche despejada, una noche nublada o un día nublado. La presencia de velocidades de viento bajas a medias

mantiene la nube viajando sobre el área sin demasiada difusión, y las condiciones estables o neutrales mantienen una concentración alta del agente y la nube cerca del suelo. Las condiciones favorables del terreno para una nube química son contornos suaves o suavemente ondulados o áreas boscosas. Las condiciones desfavorables para las nubes químicas (que generalmente se encuentran en días despejados) son turbulencias extremas o marcadas, velocidades del viento superiores a 10 nudos, una categoría de dispersión inestable, lluvia y terreno irregular.

### Viento

Las altas velocidades del viento causan una rápida dispersión de los vapores o aerosoles, lo que disminuye la cobertura efectiva del área objetivo y el tiempo de exposición al agente. Razón por la cual, se requieren grandes cantidades de municiones para garantizar una mayor concentración. Las nubes de agente son más efectivas cuando las velocidades del viento son menores a 4 nudos y su dirección es estable. Para velocidades de viento constantes y bajas de entre 3 y 7 nudos mejoran la cobertura del área a menos que exista una condición inestable. Cuando son fuertes, los agentes químicos no pueden emplearse económicamente para lograr víctimas. Las condiciones inestables, son las condiciones menos favorables, ya que dispersan rápidamente los agentes químicos, dando como resultado una concentración más baja y una menor área afectada por este. Por lo que se requerirán muchas más municiones para alcanzar los objetivos del comandante en condiciones inestables que en condiciones estables o neutrales.

Las condiciones estables (como baja velocidad del viento y ligera turbulencia) producen las concentraciones más altas. Los agentes químicos permanecerán cerca del suelo y podrán viajar largas distancias

antes de ser disipados. Esto hace que la nube permanezca intacta, lo que le permite cubrir áreas extremadamente grandes sin difusión. Sin embargo, la dirección y el alcance del viaje la nube en condiciones estables, no es predecible si no hay datos confiables de viento local. Una condición muy estable es la más favorable para lograr una alta concentración de una nube química que se está dispersando.

Las condiciones neutrales son moderadamente favorables. Con baja velocidad del viento y terreno liso, se pueden cubrir grandes áreas efectivamente. Esta condición ocurre al amanecer y al atardecer, y generalmente, es la más predecible.

### Temperatura

Cuanto mayores sean las temperaturas del aire circundante, mayor será la evaporación de los agentes, y será cada vez más rápida conforme esta aumente.

### Humedad

La hidrólisis es un proceso en el cual los compuestos reaccionan con el agua. Por lo que agentes químicos con altas tasas de hidrólisis son menos efectivos en condiciones de alta humedad, al descomponerse y cambiar sus características químicas. Esta tiene poco efecto en la mayoría de las nubes de agentes químicos. Aunque algunos de ellos, como ser el fosgeno y lewisita<sup>5</sup>, se hidrolizan con bastante facilidad. Si la humedad relativa excede el 70 por ciento, estos dos agentes no pueden emplearse de manera efectiva, excepto por un ataque repentino sobre el objetivo, de manera tal de reducir el efecto de la hidrolisis. La alta humedad combinada con altas temperaturas puede

---

<sup>5</sup> Los subproductos de la hidrólisis de lewisita no son peligrosos para la piel, sin embargo, son tóxicos si se toman internamente debido al contenido de arsénico.

aumentar la efectividad de algunos agentes, por lo que la transpiración del cuerpo hará que este absorba los agentes y permitirá así, una mejor transferencia.

### Precipitación

El efecto general de la precipitación es desfavorable porque es extremadamente efectivo para lavar los vapores y aerosoles químicos del aire, la vegetación y de cualquier material. Los pronósticos del tiempo u observaciones que indican la presencia o el potencial de precipitación, presentan un ambiente desfavorable para el empleo de agentes químicos.

### Contornos Del Terreno

Los contornos del terreno influyen en el avance de las nubes químicas de la misma manera que influyen en el flujo de aire. Estas tienden a fluir sobre terrenos de baja pendiente y valles y se asientan en huecos y depresiones y en terrenos bajos. Los vientos locales que bajan por los valles durante la noche o hacia arriba durante el día pueden desviar la nube o revertir su flujo. Por otro lado, pueden producir condiciones favorables para el viaje de la nube química cuando los pronósticos generales del área predicen calma.

Una nube química liberada en un valle estrecho sometido a una brisa de montaña retiene una alta concentración de agente a medida que fluye por el valle. Esto se debe a la mínima propagación lateral. Por lo tanto, se obtienen dosis altas en valles estrechos o depresiones. Las dosis altas son difíciles de obtener en las crestas o los lados de las crestas o colinas. Después de una fuerte lluvia, la formación de vientos locales de montaña o valle se reduce drásticamente. En áreas de tierra y agua



adyacentes, las brisas diurnas del agua y las brisas nocturnas de la tierra controlan los viajes de las nubes químicas.

### Cobertura De La Superficie

El suelo cubierto con hierba alta o maleza retrasa el flujo. Los obstáculos, como edificios o árboles, crean remolinos que tienden a romper la nube y hacer que se disipe más rápidamente. Sin embargo, los cañones o espacios de la calle entre edificios pueden generar altas concentraciones. Un terreno llano (durante una condición neutral o de inversión) o en aguas abiertas promueve un flujo de nubes uniforme y constante.

La cantidad y el tipo de vegetación en el área de la operación química también influyen en el viaje de una nube química. La vegetación, se la llama dosel vegetativo o simplemente dosel.

Los bosques se consideran árboles de hoja completa (bosques de coníferas o caducifolios). El término "dosel muy arbolado" se refiere a selvas o bosques con dosel de densidad suficiente para sombrear más del 90 por ciento de la superficie del suelo por debajo. Para las operaciones químicas, las áreas que contienen árboles dispersos o grupos de arbustos se consideran terrenos abiertos, aunque la resistencia aumenta un poco, al igual que las áreas boscosas donde los árboles no tienen hojas completas o donde el follaje ha sido destruido por un ataque previo.

Cuando se liberan agentes en un área boscosa, se puede esperar que algunas exploten en las copas de los árboles. Aunque el aerosol y el vapor liberados se depositan en el suelo, parte del agente se pierde, dependiendo del grosor y la altura del follaje. La explosión inicial y las áreas de porciones de nubes químicas liberadas dentro de bosques o

selvas son más pequeñas que las liberadas al aire libre. Sin embargo, las concentraciones dentro de las nubes iniciales son más altas en las áreas boscosas, a veces tres veces más que al aire libre. La magnitud de la concentración de las explosiones en el suelo depende de la densidad de la maleza y los árboles.

Generalmente, cuando las condiciones al aire libre son más favorables para el uso de agentes químicos, las condiciones también son favorables en áreas muy boscosas si la dispersión ocurre debajo del dosel. Las bajas velocidades del viento debajo de las copas de los árboles esparcen las nubes de agentes lentamente en dirección a favor y en contra del viento. Las áreas de vegetación densa también aumentan el área de superficie potencial para la deposición de agentes químicos. Si hay barrancos y lechos de arroyos dentro del bosque, las nubes tienden a seguir sus cursos. Aunque este flujo puede ser detenido o desviado por vientos ascendentes.

La vegetación absorbe algunos agentes por lo que las altas concentraciones de agentes químicos pueden destruir la vegetación. Sin embargo, para un ataque contra tropas mal entrenadas en defensa NBC (donde se pueden obtener dosis letales en 30 segundos o menos), la cantidad de agentes absorbido por el follaje tendrá poco o ningún efecto en el éxito del ataque. En algunos casos, el agente absorbido puede liberarse o desorberse cuando la vegetación se altera o se aplasta, creando un peligro tóxico secundario.

## LÍQUIDOS

El clima, los contornos del terreno, la vegetación, el suelo y algunas otras superficies afectan la velocidad de evaporación. Eso, a su vez, influye en la persistencia de un agente químico líquido y en la concentración de lo evaporado. Cuando se usa un agente líquido para causar víctimas a

través del contacto con el líquido al cruzar u ocupar el área, su duración de efectividad es mayor cuando la temperatura del suelo está justo por encima del punto de congelación del agente. Esto limita la velocidad de evaporación del líquido. Otras condiciones favorables son baja velocidad del viento, áreas boscosas y lluvias escasas. Por el contrario, las condiciones desfavorables son alta temperatura del suelo, alta velocidad del viento, terreno desnudo y fuertes lluvias. Las condiciones favorables y desfavorables para los agentes líquidos para los efectos de concentración de vapor son muy similares a las de las nubes químicas. Sin embargo, en los bosques, una temperatura alta con un viento muy ligero produce las concentraciones de vapor más altas.

#### Velocidad del viento

Si se desea liberar un agente, es muy importante conocer la dirección de viento, de manera tal de determinar el lugar del lanzamiento, para que sea a favor del viento y pueda alcanzar el objetivo, ya que el vapor creado por la evaporación del agente líquido se mueve con el viento. Por lo tanto, la concentración de vapor es mayor en el lado a favor del viento del área contaminada.

Dado que el viento evapora el agente, a mayor velocidad del viento y mayor superficie expuesta cubierta por el agente, mayor va a ser su evaporación. Por lo tanto, la duración de la efectividad, es mayor en los lugares donde este está protegido del viento y donde haya mayor concentración de contaminantes de agentes líquidos. El aumento de la evaporación, a su vez, crea una nube de vapor más grande, la cual, se dispersará también por vientos más fuertes. La creación y dispersión de los vapores es un proceso continuo, que aumenta o disminuye en proporción a la velocidad del viento. Aunque, existen algunos agentes químicos que no tienen una presión de vapor significativa y, en

consecuencia, sus velocidades de evaporación no se ven afectadas por la velocidad del viento.

Cuando se efectúa la liberación de un agente, su diseminación efectuada con bombas, proyectiles, cohetes o minas terrestres, indefectiblemente se da en forma desigual. Ya que se encuentran concentraciones más grandes del líquido alrededor del punto de explosión, y ligeras más lejos de la posición de ruptura. Y es probable que haya áreas pequeñas entre los puntos de explosión que no estén contaminadas, dependiendo del número de municiones que se utilicen y la uniformidad con que se dé la dispersión. Por otro lado, los agentes líquidos liberados en forma de spray se distribuyen de manera bastante uniforme, exponiendo la superficie máxima del contaminante al viento. Esto da como resultado una evaporación más rápida que cuando el agente líquido se dispersa de manera desigual (como mencionamos anteriormente). Con la pulverización, la duración de la efectividad disminuye, y hay un aumento correspondiente en la concentración de vapor a favor del viento desde el área rociada.

Existen algunos agentes que son extremadamente tóxicos, por lo que incluso una concentración superficial muy leve representa una dosis masiva excesiva. Cuando los agentes de esta categoría se liberan de las municiones de pulverización a bajas velocidades del viento, cubren solo una zona estrecha. Cuando se liberan a velocidades de viento más altas, cubren áreas más amplias de manera más efectiva. Por lo tanto, las altas velocidades del viento pueden ser más deseables para este tipo de agentes. Por el contrario, con agentes que se vaporizan fácilmente, las altas velocidades del viento pueden causar una vaporización completa antes de que el agente llegue al suelo. La nube de vapor resultante no es persistente y se disipa bastante rápido debido al alto grado de turbulencia mecánica asociada con las altas velocidades del

viento, lo que tiende a reducir la duración de la efectividad en el estado líquido al ayudar a aumentar la velocidad de evaporación.

En el caso de las regiones montañosas empinadas a veces producen remolinos a gran escala que evitan la cobertura efectiva del objetivo, por lo que cualquier concentración de vapor acumulada en las áreas rociadas es leve.

### Estabilidad, altura de la capa de mezcla y temperatura

En general cuando existen condiciones estables, hay poca o ninguna turbulencia térmica, las velocidades del viento son bajas y el grado de turbulencia mecánica también es bajo. Por encima de la parte superior de la capa de superficie estable, aumentan la velocidad del viento y la turbulencia, como así también, puede haber diferencias en la dirección del viento, con respecto a la dirección del de superficie. La altura de la parte superior de la Capa Estable varía a lo largo del período de existencia de la inversión de superficie, lo cual se produce durante la noche, en mayor medida con cielo despejado. A medida que sale el sol, la superficie de la tierra empieza a calentarse, y a generarse pequeñas turbulencias, esto marca el inicio de la Capa de Mezcla. Esta, aumenta su espesor a medida que se calienta la superficie de la tierra y la turbulencia se hace más intensa. Luego, durante la noche, cuando la superficie se empieza a enfriar nuevamente, aparece la Capa Estable. Lo que antes era la Capa de Mezcla, va a pasar a llamarse Capa Residual, y se va a posicionar sobre la Estable, hasta que nuevamente se caliente la superficie, y esta última desaparezca.

Si se libera un agente químico por sobre la Capa Estable, la mayor parte del agente permanece en el aire en la capa de turbulencia, y se disipará antes de llegar lo suficientemente bajo como para ser efectivo. Por esta razón, la mayoría de las misiones de pulverización se realizan al

amanecer o al atardecer para aprovechar el gradiente de temperatura neutral, y que la pulverización química, al ser relativamente pesada, tiende a asentarse sobre el suelo naturalmente. En condiciones inestables, las corrientes de convección a menudo atrapan muchas gotas muy pequeñas y las llevan hacia arriba por encima del nivel de liberación y es muy probable que se disipe antes de que pueda llegar a alcanzar el objetivo.

La temperatura es un factor muy importante a tener en cuenta al momento de realizar la liberación de un agente químico, ya que afectan en lo que a la duración de la concentración de vapor de los agentes líquidos se refiere. Desde un punto de vista defensivo, es un factor importante a tener en cuenta ya que, en los días de verano, donde las temperaturas son elevadas y se pueda establecer una condición estable (durante el atardecer), es probable que ocurra una situación de peligro, donde una nube de vapor muy concentrada producida por la evaporación, podría establecerse o ser llevada a favor del viento a una distancia de hasta 2,000 metros o más.

Los efectos causados por la temperatura en el caso de un empleo táctico efectivo ofensivo de bombas, proyectiles, cohetes y minas terrestres para liberar agentes químicos líquidos, ya que estos no son efectivos si se liberan en zonas cuyas temperaturas estén por debajo de su punto de congelación. Aunque si lo que se espera es un daño con un cierto tiempo de retardo, una vez que estos agentes se descongelan, al aumentar la temperatura, pueden producir víctimas.

### Precipitación

La lluvia puede presentarse como un factor favorable para la dispersión de los agentes que son más persistente, llegando a cubrir de una manera más uniforme una superficie más grande. Esto va a favorecer la

velocidad con la que estos agentes se van a evaporación, causando así mayores concentraciones de vapor.

La precipitación se presenta como un factor desfavorable, ya que las lluvias intensas o de larga duración tienden a eliminar los agentes químicos líquidos por el efecto de hidrolisis. Produciendo que se acumulen en áreas previamente no contaminadas (como lechos de corrientes y depresiones) y presentando un peligro de contaminación no planificado. también reduce la velocidad de evaporación de un agente líquido cuando este se encuentra cubierto con agua, pero vuelve a la normalidad cuando el agua se va.

La precipitación puede obligar a volver a la superficie a algunos agentes persistentes que han perdido su efectividad de contacto al sumergirse en el suelo u otras superficies porosas, haciendo que vuelvan a convertirse en un riesgo al entrar en contacto con este.

### Topografía

Un terreno de llanuras tiene poco efecto sobre un agente líquido, ya que permite su libre desplazamiento, al no ofrecer ningún obstáculo en el camino. Sin embargo, una pendiente afecta las temperaturas y los vientos, y por consiguiente a la dispersión y concentración de estos, como ser el caso de las pendientes montañosas y sus valles, o los acantilados, donde estos van a forzar la circulación de los agentes, en el caso de que haya presencia de viento, pudiendo llegar a concentrarlos en un área de depresión, como ser un valle entre montañas.

### Suelo

El suelo sobre el que se colocan los agentes líquidos influye en la velocidad de evaporación y la duración de la efectividad. El suelo

desnudo y duro favorece la efectividad a corto plazo y la alta concentración de vapor. Si la superficie es porosa, como arena, el agente líquido absorbe rápidamente, y el área ya no parece estar contaminada. La velocidad a la que los agentes líquidos se evaporan, es menor que la velocidad de evaporación de las superficies no absorbentes. El contacto prolongado con un material poroso contaminado es peligroso si no está protegido. Sin embargo, si no hay líquido libre en la superficie, el peligro de un breve contacto es relativamente pequeño si está protegido. Si una superficie porosa en la que cae la contaminación líquida ha sido mojada por la lluvia, el contaminante no penetra tan fácilmente, y la superficie es inicialmente más peligrosa al tacto de lo que sería si el agente líquido se hubiera empapado. – “Cuando un agente mostaza (HD) cae sobre una superficie húmeda, permanece en glóbulos, y una película delgada y aceitosa se extiende sobre la superficie, haciendo que la contaminación sea más fácil de detectar. – (Field Behavior of the Department of NCB Agents, 3 de noviembre de 1986, p. 1-16).

## AGENTES BIOLÓGICOS

Estos incluyen microorganismos causantes de enfermedades (patógenos) y toxinas. Si bien estos agentes probablemente se diseminen como un aerosol, es importante saber que difieren de los agentes químicos en algunos aspectos de su comportamiento en el campo, por lo tanto, es necesario un conocimiento básico de dicho comportamiento es esencial para estimar la vulnerabilidad ante ellos. Por lo que más adelante siguientes veremos los factores que contribuyen a la diseminación del agente biológico, los efectos del clima y las influencias del terreno.



Las toxinas son sustancias químicas derivadas biológicamente que tienen características deseables para su uso como agentes de guerra biológica, y pueden ser naturales o sintéticas. En cuanto a los patógenos, estos se descomponen como resultado de factores como la meteorización, y requieren tiempo para invadir un cuerpo y multiplicarse lo suficiente como para superar sus defensas, que es el período de incubación, el cual puede variar de horas a meses, dependiendo del tipo de patógeno.

### Diseminación

En general los agentes biológicos son liberados como aerosoles o grandes gotas líquidas. Por lo tanto, son tanto se propagan según la velocidad del viento y se dispersan por los efectos de la turbulencia. Conforme mayor sea la velocidad del viento, mayores áreas se van a cubrir, siempre y cuando la tasa de descomposición sea lo suficientemente alta como para darle tiempo al agente de cubrir la extensión del área objetivo, antes de que este muera. Los agentes altamente virulentos, con bajas tasas de descomposición pueden extenderse sobre grandes áreas. Los agentes virulentos con mayores tasas de descomposición empleados en las mismas condiciones atmosféricas son mucho menos efectivos. Cuando hay bajas velocidades del viento, de direcciones variables. Estos cambios pueden causar más propagación lateral y difusión a favor del viento que las velocidades más altas. El efecto óptimo depende de la naturaleza del agente y las condiciones atmosféricas.

## EFFECTOS CLIMÁTICOS

Tanto la estabilidad del aire, la temperatura, la humedad relativa, los contaminantes, la cobertura de nubes, como la precipitación tienen un gran efecto sobre los agentes biológicos.

### Estabilidad del aire

La estabilidad atmosférica influye en una nube biológica de la misma manera que afecta a una nube química. Una atmósfera estable da como resultado la mayor concentración de nubes y cobertura de área de los agentes biológicos. En condiciones de inestabilidad, se produce una mayor mezcla atmosférica, lo que conduce a una nube de menor concentración. Sin embargo, los agentes biológicos pueden ser más efectivos en concentraciones más bajas que los agentes químicos.

### Temperatura

Si bien la temperatura atmosférica tiene poco efecto directamente sobre los microorganismos de un aerosol biológico, pero, conforme aumenta la temperatura aumenta la velocidad de evaporación de las gotitas del aerosol. – “Existe evidencia de que la supervivencia de la mayoría de los patógenos disminuye más bruscamente en el rango de -20 ° C a -40 ° C y por encima de 49 ° C. Las altas temperaturas matan la mayoría de las bacterias y la mayoría de los agentes virales y rickettsiales. Sin embargo, estas temperaturas rara vez se encontrarán en condiciones naturales. Las temperaturas de subcongelación tienden a congelar rápidamente el aerosol después de su liberación, lo que

disminuye la velocidad de descomposición. La mayoría de las toxinas son más estables que los patógenos y son menos susceptibles a la influencia de la temperatura.” – (Field Behavior of the Department of NCB Agents, 3 de noviembre de 1986, p. 3-2).

### Humedad relativa

La distribución de los aerosoles puede hacerse en húmedo o seco. De esto va a depender la influencia que la humedad pueda llegar a tener sobre estos. Para el caso de una distribución de agentes biológicos en húmedo, esta retrasa la evaporación de las pequeñas gotas que contienen los microorganismos, y aumenta conforme la humedad relativa aumenta, a su vez, disminuye la tasa de descomposición, ya que el secado resulta en la muerte de estos microorganismos. Por otro lado, una baja humedad relativa es favorable para el empleo de agentes en seco. Cuando la esta es alta, la humedad adicional en el aire puede aumentar la tasa de descomposición de los microorganismos del aerosol seco, ya que la humedad acelera el ciclo de vida de los microorganismos. Así mismo, la mayoría de las toxinas son más estables que los patógenos y son menos susceptibles a la influencia de la humedad relativa.

### Contaminantes

Se ha encontrado que gases contaminantes como el dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono y monóxido de carbono disminuyen el ciclo de vida de los distintos patógenos. Este es un factor a tener en cuenta, ya que, por lo general en un campo de batalla, la presencia de estos es normal, y mayor en condiciones de una atmosfera estable.

### Cobertura de la nube

Los agentes biológicos aumentan su tasa de descomposición con la exposición a la luz solar ultravioleta. Por lo que la cobertura que ofrece la capa de nubes, va a influir sobre el efecto que esta pueda tener sobre los agentes. Como así también, en las variaciones de temperatura ambiente y en la humedad relativa.

### Precipitación

La concentración de agentes puede disminuir drásticamente en el caso de fuertes tormentas, ya que esta hace un efecto de lavado de las partículas suspendidas en el aire. La alta humedad relativa asociada con nieblas, lloviznas y lluvias muy ligeras también son un factor importante, por lo antes mencionado, siendo favorables o desfavorables, dependiendo del tipo de agente.

## INFLUENCIAS DEL TERRENO

### Suelo y vegetación

La vegetación reduce la cantidad de partículas de aerosol. El impacto de las partículas suspendidas sobre los árboles y el césped hace que algunas partículas se depositen, y esta sedimentación reduce la concentración del agente. Sin embargo, la cubierta vegetal reduce la exposición a la luz ultravioleta, aumenta la humedad relativa y puede reducir las temperaturas. Todos estos factores favorecen la supervivencia de los aerosoles húmedos.

## DETONACIONES NUCLEARES

Cuando se produce una explosión nuclear, se producen radiaciones explosivas y efectos térmicos muy intensos. Cuando detona a baja altitud, una bola de fuego resulta de la liberación repentina de inmensas cantidades de energía. La temperatura inicial de la bola de fuego varía en millones de grados, y la presión inicial varía en millones de atmósferas. La mayor parte de la energía de una detonación aparece en el área objetivo en forma de tres efectos distintos: radiación nuclear, explosión y radiación térmica.

### RADIACIÓN NUCLEAR

La radiación de neutrones y gamma de la detonación del arma, produce víctimas y, en muchos casos, daños materiales también. Las regiones ionizadas, que pueden interferir con la propagación de ondas electromagnéticas asociadas con sistemas de comunicación y radares, se producen cuando la atmósfera absorbe radiación nuclear.

Cuando se produce una explosión nuclear, un resultado habitual es la conocida nube en forma de hongo. La cual puede extenderse decenas de miles de metros, y en el caso de una explosión de superficie o una explosión de sub-superficie poco profunda, es una tremenda nube de aerosol desarrollada verticalmente que contiene material radiactivo.

El efecto de la velocidad y dirección del viento en varias altitudes es de particular interés, ya que pueden predecir las ubicaciones de las consecuencias que pueden resultar de una explosión nuclear. Los

efectos del clima y el terreno se aplican tanto a los efectos iniciales como a los residuales de las explosiones nucleares.

### Precipitación

La precipitación puede provocar la eliminación de partículas radiactivas de la atmósfera mediante la lluvia radiactiva. Debido a las incertidumbres asociadas con las predicciones meteorológicas, los lugares que podrían recibir lluvia no pueden predecirse con suficiente precisión. Esta, puede ocurrir en las proximidades de la zona cero o la contaminación podría llevarse a lo alto durante decenas de kilómetros antes de la deposición. Grandes cantidades de desechos radiactivos serán transportados hacia arriba y se depositarán a favor del viento. Sin embargo, la lluvia puede causar que el área de precipitación aumente o disminuya, como también puede causar puntos calientes dentro del área de lluvia. En cuanto a las ráfagas de aire, la lluvia puede aumentar el peligro de contaminación residual, y causar áreas contaminadas adicionales en lugares inesperados.

La lluvia en un área contaminada por una explosión de superficie, cambia el patrón de intensidades radiactivas al lavar elevaciones más altas, edificios, equipos y vegetación, reduciendo las intensidades en algunas áreas y posiblemente aumentando las intensidades en los sistemas de drenaje, terreno bajo, y en áreas planas y mal drenadas.

### Velocidad Y Dirección Del Viento

La velocidad y la dirección del viento en varias altitudes son dos factores que determinan la forma, el tamaño, la ubicación y la intensidad del

patrón de caída en el suelo, ya que los desechos contaminados se depositan a favor del viento. Este, en superficie, juega un papel importante en la ubicación final de las partículas que se caen, causando la localización de este material en grietas o zanjas y contra bordillos o repisas. dicho efecto no es localmente predecible, pero el personal debe ser consciente de la probabilidad de que ocurran estas acumulaciones altamente intensas de material radiactivo y sus ubicaciones naturales.

### Nubes y densidad del aire

Las nubes y la densidad del aire no tienen efectos significativos en los patrones de lluvia radiactiva.

### Contornos del terreno

Las zanjas, quebradas, pequeñas colinas y crestas ofrecen cierta protección contra la radiación gamma que emana del área contaminada. Los contornos del terreno también hacen que se desarrollen sistemas locales de viento. Estos sistemas eólicos afectarán la disposición final de las consecuencias en el suelo, creando puntos calientes y áreas de patrones. El follaje pesado, puede reducir la cantidad de partículas contaminadas que lleguen a la superficie, disminuyendo así, su concentración.

### TIPO DE OPERACIÓN

La temperatura y el terreno pueden influir en los efectos de la radiación nuclear en las operaciones tácticas. Como así también, los efectos del

clima frío, el desierto, la jungla, la montaña y las operaciones urbanas en la planificación de la defensa nuclear.

### Operaciones en clima frío

Las condiciones climáticas limitan el número de caminos transitables. La contaminación radiológica en las carreteras puede restringir aún más el reabastecimiento y el movimiento de tropas. Los fuertes vientos estacionales que llegan desde la Antártida, pueden presentar un problema en las predicciones de contaminación radiológica. Estos vientos pueden reducir las tasas de dosis en la zona cero, al mismo tiempo, extienden la cobertura del área. Los puntos calientes o áreas de acumulación concentrada de contaminación radiológica también se pueden dar en áreas de nevadas.

### Operaciones en el desierto

Las operaciones en el desierto presentan muchos problemas diferentes. Las temperaturas diurnas del desierto pueden variar entre 32 ° C a 52 ° C. Estas temperaturas crean un gradiente de temperatura inestable. Sin embargo, con la caída de la noche, el desierto se enfría rápidamente y se produce un gradiente de temperatura estable, por lo que debe considerarse la posibilidad de ataques nocturnos en toda planificación.

### Operaciones de montaña en tierra y áreas de recolección.

En las montañas, el depósito de contaminación radiológica será muy errático debido a los patrones de viento que cambian rápidamente. Los



puntos calientes pueden ocurrir lejos del punto de detonación, y las áreas de baja intensidad pueden darse muy cerca de él.

## EXPLOSIÓN

Luego de producida la detonación se genera una onda expansiva, con efectos de arrastre que viaja hacia afuera desde la explosión, provocando la mayor parte del daño del material y un número considerable de víctimas. dicha onda expansiva es producto de una explosión de aire resultante de la expansión de los gases intensamente calientes a presiones extremadamente altas dentro de la bola de fuego, que se mueve hacia afuera a muy altas velocidades.

La característica principal de la onda expansiva es el aumento brusco de la presión por encima de las condiciones ambientales, lo que se denomina sobrepresión.

Inicialmente, la velocidad del frente de choque es muchas veces la velocidad del sonido. Sin embargo, a medida que el frente avanza hacia afuera, se ralentiza y se mueve con la velocidad del sonido. La magnitud de los parámetros de la explosión de aire depende del rendimiento del arma, la altura de la explosión y la distancia desde la zona cero. La onda expansiva puede durar de décimas de segundo a segundos, dependiendo del rendimiento y la distancia desde la explosión. El clima, las condiciones de la superficie, la topografía y el tipo de operación que se realiza afectan la onda expansiva.

## Clima

La lluvia y la niebla pueden disminuir la onda expansiva porque la energía se disipa al calentar y evaporar la humedad de la atmósfera.

## Condiciones de la superficie

La naturaleza reflectante de la superficie sobre la que se detona un arma puede influir significativamente en la distancia a la que se extienden los efectos de la explosión. En general, las superficies reflectantes, como capas delgadas de hielo, nieve y agua, aumentan la distancia a la que se extienden las sobrepresiones.

## Topografía

La mayoría de los datos relacionados con los efectos de la explosión se basan en terrenos planos o suavemente ondulados. No existe un método rápido y simple para calcular los cambios que el terreno montañoso produce en las presiones de explosión. En general, las presiones son mayores en las pendientes delanteras de colinas empinadas y disminuyen en las pendientes inversas en comparación con las presiones a la misma distancia en terreno plano. El blindaje de la explosión no depende en gran medida de las consideraciones de la línea de visión porque las ondas de la explosión se doblarán o refractan alrededor de los obstáculos.

## Operaciones en climas fríos

A temperaturas bajo cero, el radio de daño a los objetivos materiales puede aumentar hasta en un 20 por ciento. Estos objetivos incluyen elementos como buques y vehículos militares. Una presión dinámica aumentada puede ser el resultado de una onda precursora sobre superficies que absorben calor. Sin embargo, la tundra, las características irregulares del terreno en las costas y las capas de hielo rotas, perturban la onda de presión.

## RADIACIÓN TÉRMICA

La bola de fuego producto de la explosión de una bomba de tipo nuclear, genera la liberación inmediata de una enorme cantidad de energía en un espacio pequeño, lo que da como resultado una temperatura inicial que oscila en millones de grados y emite una intensa radiación térmica que provoca el calentamiento y la combustión de objetos en el área circundante. Los efectos térmicos se verán influenciados por el clima, el terreno, la altura de la explosión y el tipo de operación.

En la detonación de un arma nuclear típica de tipo fisión, el porcentaje de la energía total que aparece como radiación nuclear, explosión o radiación térmica depende de la altitud a la que se produce el estallido y del diseño del arma. Para estallidos a unos pocos kilómetros sobre la superficie de la tierra, un poco más del 50 por ciento de la energía puede aparecer como explosión, aproximadamente el 35 por ciento como energía térmica y aproximadamente el 15 por ciento como radiación nuclear

## Clima

Cualquier condición que afecte significativamente la visibilidad o la transparencia del aire afecta la transmisión de radiación térmica. Las nubes, el humo (incluido el artificial), la niebla, la nieve o la lluvia absorben y dispersan la energía térmica. Dependiendo de la concentración, pueden detener hasta el 90 por ciento de la energía térmica. Por otro lado, las nubes sobre el estallido pueden reflejar radiación térmica adicional sobre el objetivo que de otro modo habría viajado inofensivamente hacia el cielo.

## Terreno

Las grandes masas de colinas, bosques o selvas, o cualquier objeto opaco entre la bola de fuego y el objetivo pueden proporcionar cierta protección a un elemento objetivo de la radiación térmica. Sin embargo, el personal protegido de la radiación directa de la línea de visión de la bola de fuego aún puede recibir lesiones térmicas debido a la reflexión de esta en algunos objetos. Las buenas superficies reflectantes, como el agua, la nieve o la arena del desierto, pueden reflejar el calor sobre el objetivo e intensificar el efecto de radiación térmica. La capacidad reflectante de los materiales del agujero de zorro varía del 8 por ciento para el suelo negro húmedo al 93 por ciento para la nieve. Debido a la dispersión atmosférica y los reflejos, las bajas térmicas pueden resultar en un rango mayor que las bajas de otros efectos.

## Altura de la explosión

La cantidad de radiación térmica que recibe un objetivo en superficie, producto de una explosión nuclear, variará con la altura en la que se

efectúa la explosión. Ya que un estallido en la superficie produce aproximadamente la mitad de la cantidad de radiación térmica que produciría una explosión de aire debido a la interacción de la bola de fuego con la superficie. La radiación térmica de una explosión subterránea donde la bola de fuego no es visible es insignificante.

### Tipo de operación

La temperatura y el terreno también pueden influir en el efecto de la radiación térmica en las operaciones tácticas. Siguen los efectos del clima frío y las montañas sobre la radiación térmica.

### Operaciones en climas fríos

La alta reflectividad del hielo y la nieve puede afectar seriamente la visión del personal, viéndose intensificado el destello brillante o luz deslumbrante producto de la explosión, sobre todo en las horas nocturnas. Aunque también, sus propiedades de baja absorción pueden hacer que tanto el personal, como los materiales sean menos vulnerable a los efectos térmicos. Incluso, la nieve, el hielo y las heladas sobre materiales combustibles, reducen en gran medida la tendencia de estos a incendiarse.

## ANÁLISIS FINAL

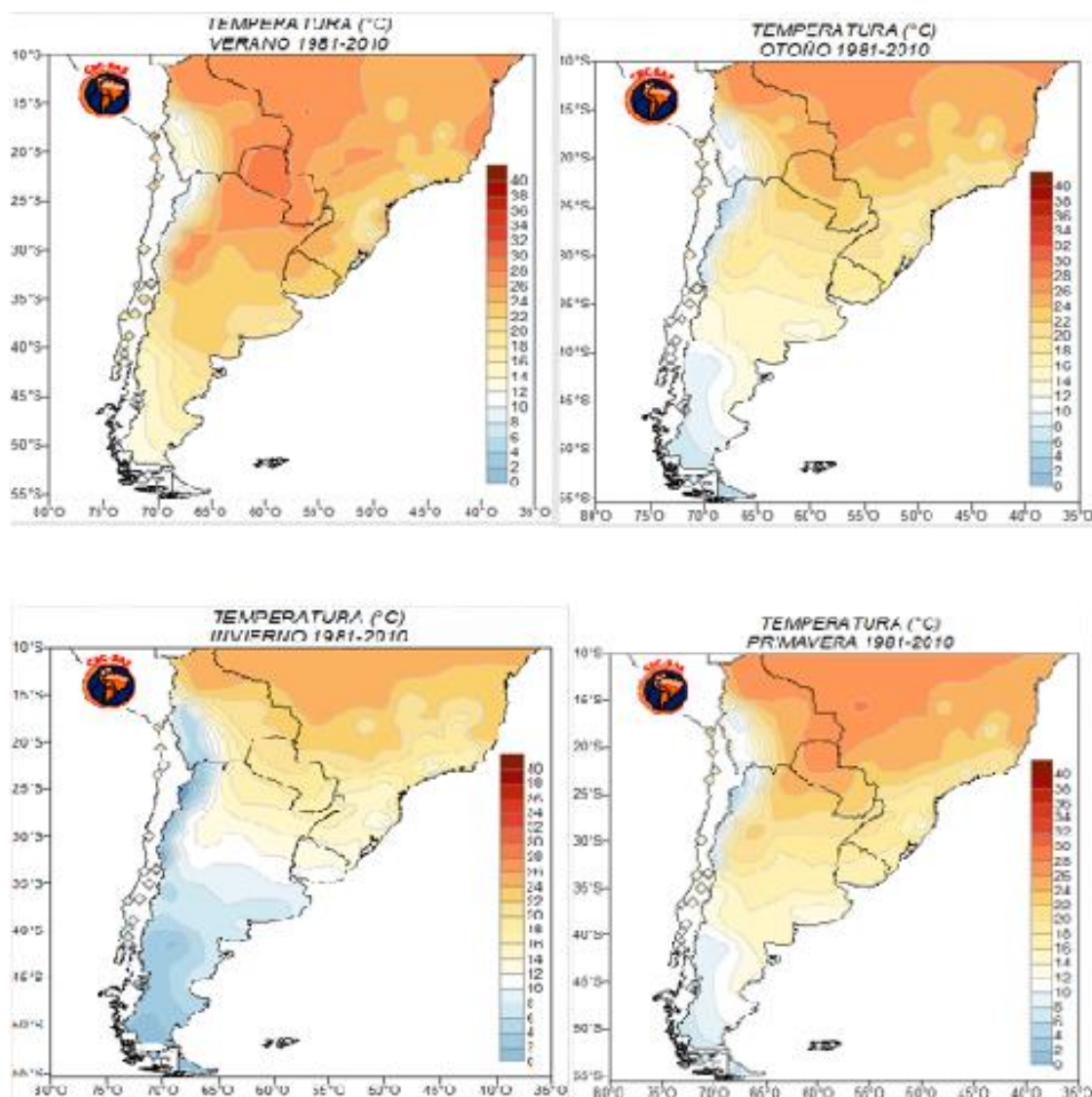
En base a lo expuesto anteriormente, tomo como factores meteorológicos de importancia a la temperatura, precipitación y el viento en superficie. De acuerdo a estas imágenes con datos climatológicos, podemos ver cuáles serán las zonas más afectada, de acuerdo a la intensidad de los vientos, y la temperatura, que como hemos visto antes, producen una alta evaporación de los agentes, aumentando su concentración y, por consiguiente, el daño que pueden causar.

También podemos ver cuáles serán las zonas que podrían llegar a ser menos afectadas, ya sea por la fuerte velocidad en los vientos, como lo es el sur de nuestro país, donde se aprecian las máximas intensidades de viento en las estaciones de verano y otoño. O por la importante cantidad de m.m. de precipitación medida en sectores como en el noreste del país durante casi todo el año, y el centro y norte del país más sobre la estación de invierno, donde además los vientos en superficie se van a ver disminuidos. Esto ayudaría a que se produzca una menor dispersión de los agentes y una mejor dilución de estos al encontrarse en mayores concentraciones sobre una misma área.

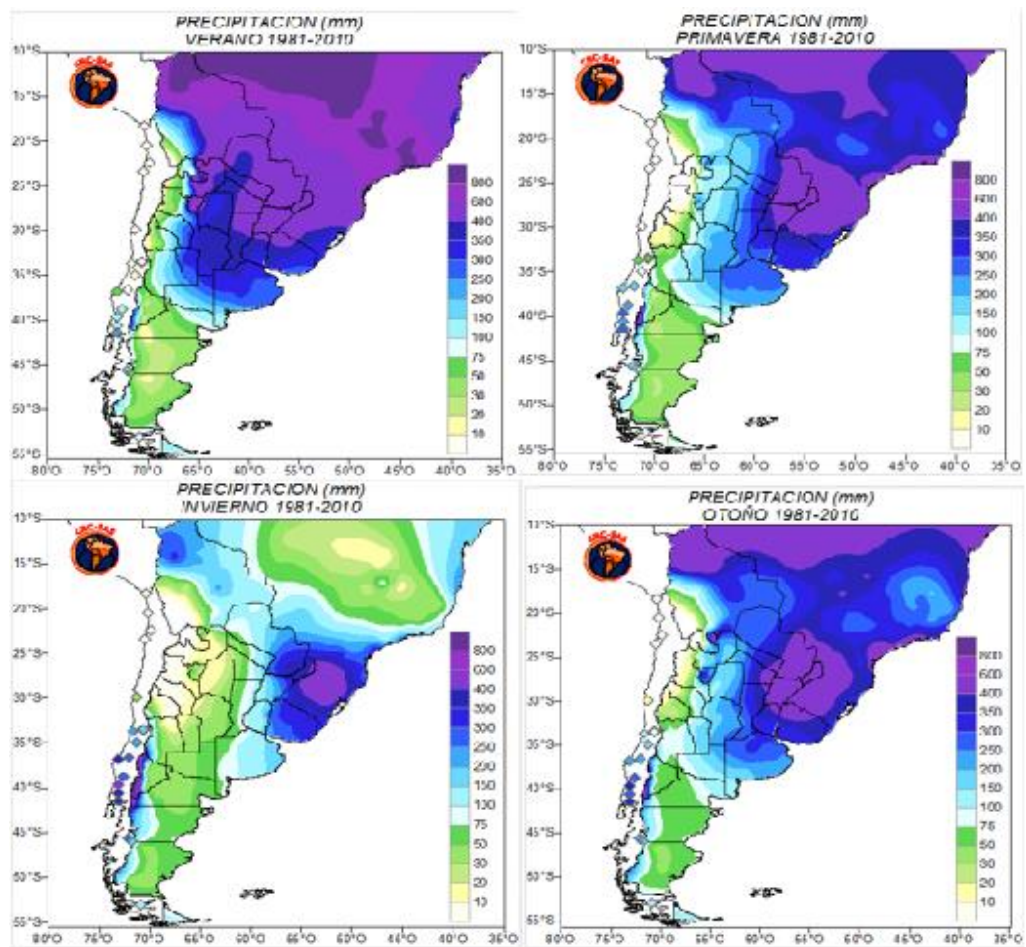
En cuanto al viento en altura, domina una circulación general oeste, por lo que, si se espera un ataque de tipo QBN, es muy importante resguardarse (en el caso de una operación defensiva), hacia el lado oeste de la supuesta posición de la fuente de liberación. En el caso de operaciones del tipo ofensiva tenemos que tener presente que, dicha fuente la liberación de cualquier agente, debe ser necesariamente a barlovento del objetivo, de manera tal, de no producir riesgos en la propia fuerza y causar el mayor efecto sobre el enemigo.

Como vemos, en nuestro país las condiciones meteorológicas son muy variables a lo largo de nuestro territorio. Pasando de zonas de

temperaturas bajas en la Patagonia, al sur de nuestro país, a las más elevadas, en el norte. Esto debido a su gran extensión meridional. Esto es coincidente en el caso del viento, donde las mayores intensidades se ven en las mismas zonas geográficas.

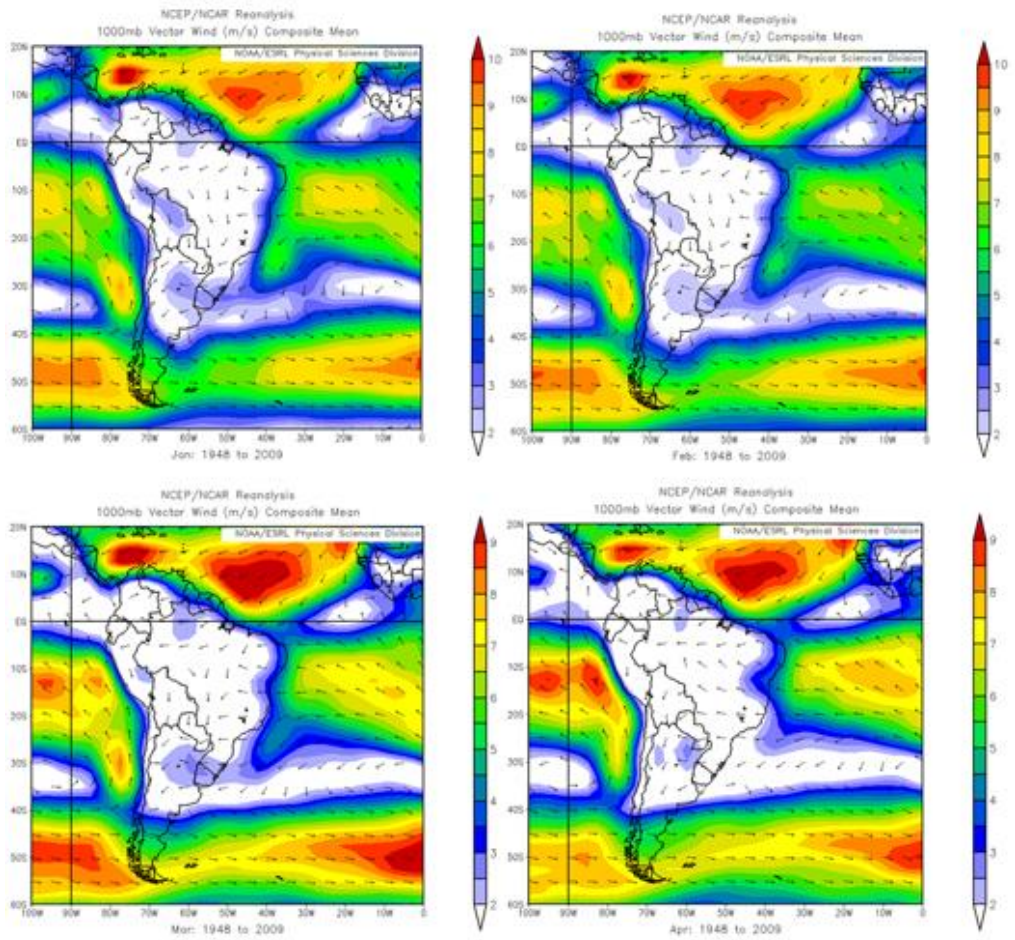


Datos climatológicos de temperatura para las cuatro estaciones del año. ([http://www.crc-sas.org/es/mapasnormales\\_interface\\_8110\\_crc.php?clave=Temperatura-Media](http://www.crc-sas.org/es/mapasnormales_interface_8110_crc.php?clave=Temperatura-Media)).

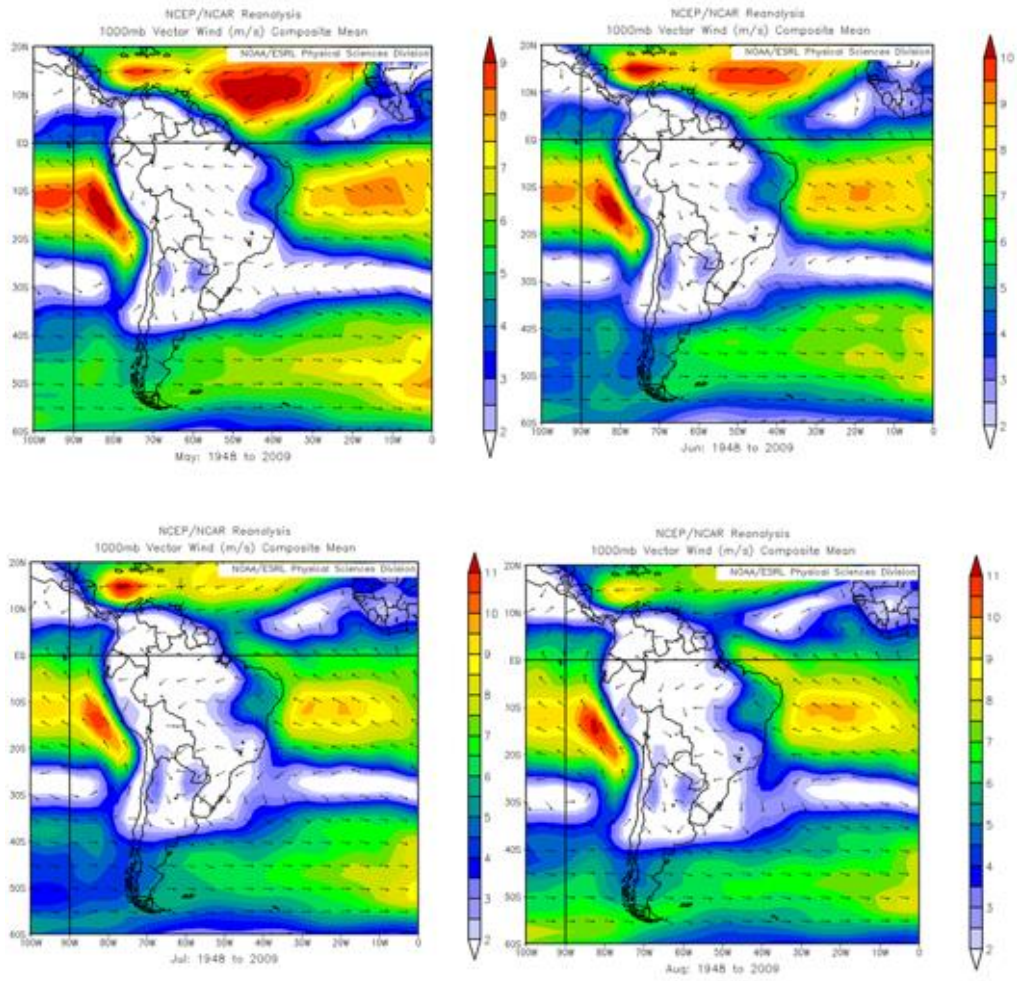


Datos climatológicos de precipitaciones para las cuatro estaciones del año. ([http://www.crc-sas.org/es/mapasnormales\\_interface\\_8110\\_crc.php?clave=Precipitaci%C3%B3n-Media](http://www.crc-sas.org/es/mapasnormales_interface_8110_crc.php?clave=Precipitaci%C3%B3n-Media))

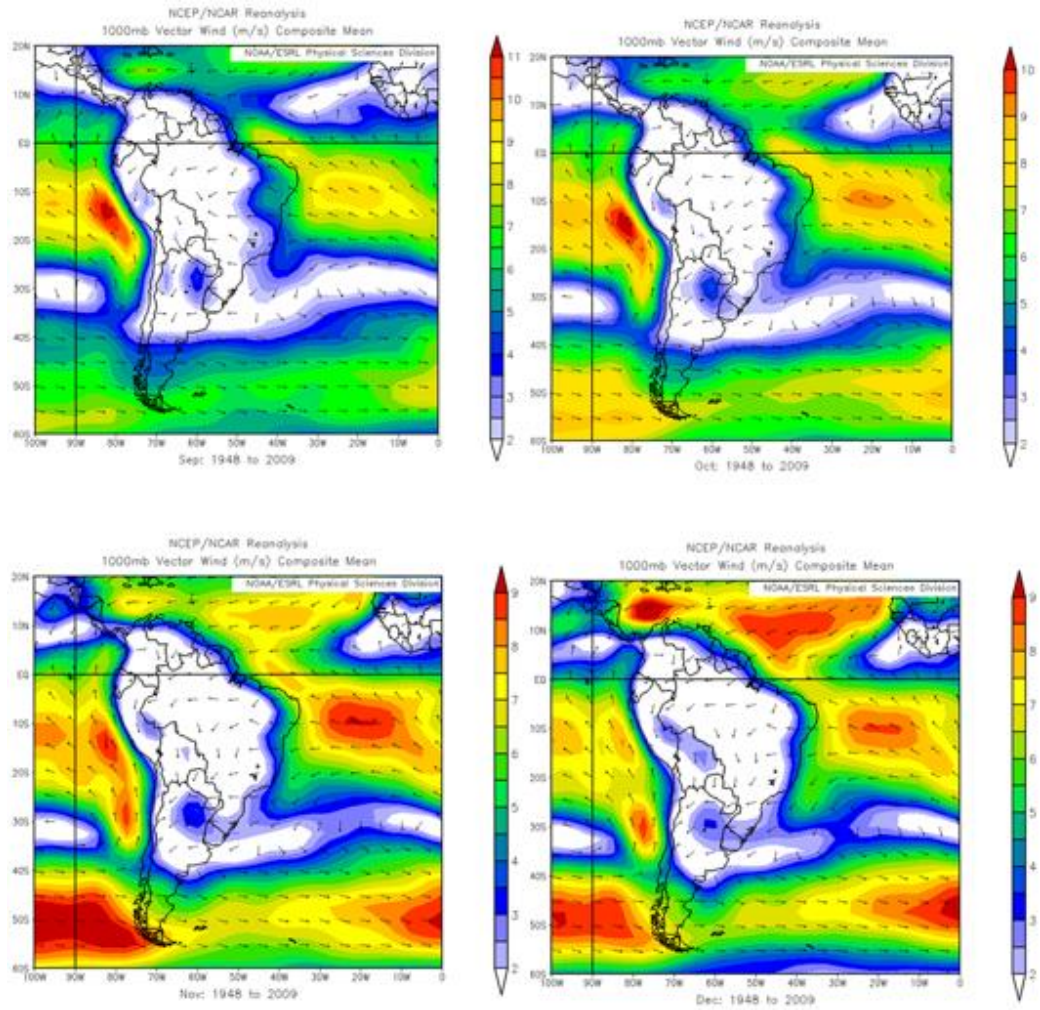




Datos climatológicos de viento en superficie para cada mes a lo largo de año. (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>)



Datos climatológicos de viento en superficie para cada mes a lo largo de año. (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>)



Datos climatológicos de viento en superficie para cada mes a lo largo de año. (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>)

## CONCLUSIONES

Nuestro país se encuentra dominado por variables climáticas muy distintas en su extensión meridional. Esto provoca que desde el norte, con temperaturas mas cálidas, vientos leves y precipitaciones más intensas, vayan cambiando conforme aumenta la latitud. Donde las temperaturas y nivel de precipitaciones disminuirían, y la intensidad de los vientos irían en aumento conforme nos acercamos a la Patagonia.

Todas estas variaciones en cuanto a condiciones meteorológicas, son de gran importancia a la hora de determinar el factor crítico a tener en cuenta para llevar a cabo una determinada operación, tanto ofensiva como defensiva, si el campo de batalla se diera en las extensiones de nuestro país. Como ejemplo de un factor crítico, podríamos mencionar el viento. Este, en el caso del lanzamiento de un aerosol químico, si bien podría contribuir a la formación de la nube de vapor, cuando alcanza velocidades demasiado altas, reduciría al máximo la concentración del agente, inhibiendo el efecto deseado sobre el enemigo. Esta situación es de esperarse en la región patagónica de nuestro país.

Cabe destacar la importancia de considerar el factor meteorológico en el planeamiento de toda operación militar. Teniendo en cuenta tanto las condiciones del tiempo actual, como las pasadas a fin de poder estimar cuáles van a ser las futuras y adecuar el planeamiento de las operaciones a llevar a cabo para lograr el objetivo deseado.



## BIBLIOGRAFÍA

Departments of The Army, The Air Force and Marine Corps, 3 de noviembre de 1986. Disponible en URL:

<https://fas.org/irp/doddir/army/fm3-6.pdf>

GOBIERNO DE ARAGÓN. Disponible en URL:

[http://www.aragonaire.es/moreinfo.php?n\\_action=pollutants](http://www.aragonaire.es/moreinfo.php?n_action=pollutants)

Sverre Petterssen. (1976). *Introducción a la Meteorología*. Quinta edición. Madrid: Espasa Calpe, S.A.

ESRL, División de Ciencias Físicas. Disponible en URL:

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>

Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Disponible en URL: [http://www.crc-sas.org/es/mapas\\_normales\\_todos\\_crc.php#](http://www.crc-sas.org/es/mapas_normales_todos_crc.php#)