

# La radiación injustamente demonizada: Por qué se debe abandonar el modelo lineal sin umbral

La radiación ionizante se presenta a menudo como una amenaza invisible, moldeada por eventos históricos sombríos como Hiroshima, Chernóbil y Fukushima. Este miedo se refuerza por el **modelo lineal sin umbral (LNT)**, que asume que cualquier dosis de radiación, por pequeña que sea, aumenta el riesgo de cáncer de manera proporcional. Este modelo guía las políticas regulatorias en todo el mundo, imponiendo límites estrictos de exposición y generando una ansiedad pública generalizada.

Sin embargo, un creciente cuerpo de evidencia científica sugiere que el modelo LNT no solo es excesivamente simplista, sino que es científicamente defectuoso. Los sistemas biológicos poseen defensas robustas contra la radiación de baja dosis, y en muchos casos, dicha exposición puede incluso ser beneficiosa. Desde regiones naturales con alta radiación hasta usos médicos históricos y estudios de laboratorio controlados, la realidad es clara: la radiación ha sido injustamente demonizada, y el modelo LNT debe ser abandonado en favor de un modelo que refleje los mecanismos de reparación biológica y las respuestas adaptativas.

## Fallos del modelo LNT

El modelo LNT se originó a partir de datos de sobrevivientes de exposiciones a dosis altas, principalmente víctimas de bombas atómicas, donde los riesgos de cáncer aumentaron en dosis muy por encima de 1,000 mSv. El modelo extrapola estos efectos de dosis altas de manera lineal hasta dosis cercanas a cero, asumiendo que no existe un umbral por debajo del cual la radiación sea inofensiva. Según esta lógica, incluso estar junto a una encimera de granito o hacerse una sola radiografía conlleva un riesgo.

Sin embargo, esta suposición se desmorona bajo un escrutinio detallado. **Dosis por debajo de 100 mSv**, especialmente cuando se distribuyen a lo largo del tiempo, muestran poco o ningún daño medible en los estudios. El modelo LNT no tiene en cuenta la **naturaleza no lineal de los sistemas biológicos**, incluidos los sofisticados mecanismos de reparación del ADN que evolucionaron para manejar el daño diario causado por la radiación de fondo natural y el estrés oxidativo.

La radiación de fondo natural varía significativamente en todo el mundo. En áreas de alta radiación como **Ramsar, Irán (300–30,000 nSv/h)**, **Guarapari, Brasil (800–90,000 nSv/h)** y **Kerala, India (446–3,000 nSv/h)**, las personas viven toda su vida con tasas de dosis mucho más altas que el promedio global de **270 nSv/h**, y sin embargo, **no se observa un aumento consistente en las tasas de cáncer**. Esto socava la idea de que toda radiación es

peligrosa y sugiere que las exposiciones a dosis bajas podrían ser neutrales o incluso beneficiosas.

## Hormesis por radiación: Una perspectiva mejor

La **hipótesis de la hormesis** propone que **dosis bajas de radiación ionizante (típicamente por debajo de 100 mSv en total, o en el rango de 10–100,000 nSv/h)** pueden desencadenar respuestas biológicas adaptativas que hacen que las células sean más resistentes. Estas incluyen una mejor reparación del ADN, un aumento en la producción de antioxidantes como la **superóxido dismutasa** y una mejora en la vigilancia inmune.

Los estudios de laboratorio apoyan esta visión. Las células expuestas a radiación de baja dosis a menudo aumentan la producción de proteínas de reparación y eliminan componentes dañados de manera más eficiente. Experimentos en animales han mostrado que ratones expuestos a radiación de fondo baja a veces viven más tiempo y desarrollan menos tumores que los grupos de control.

La evidencia histórica también está alineada con la hormesis. En lugares como **Gasteiner Heilstollen en Austria**, las personas visitan balnearios termales ricos en radón con tasas de dosis de alrededor de **10,000–100,000 nSv/h** para tratar afecciones inflamatorias como la artritis. Aunque el mecanismo no se entendió durante siglos, estos tratamientos a menudo reducen el dolor y la inflamación, lo que es consistente con la modulación inmune inducida por la radiación.

Por supuesto, **nadie vive a tiempo completo en un balneario de radón o en la playa de Guarapari**. Pero ese es precisamente el punto: las altas tasas de dosis durante períodos cortos a menudo no producen **ningún daño medible** y pueden generar **beneficios terapéuticos**, una contradicción directa con el modelo LNT.

## La analogía del bronceado: Una comparación de sentido común

El público acepta la exposición moderada al sol como algo normal, incluso saludable, a pesar de que la radiación ultravioleta (UV) es un carcinógeno conocido. ¿Por qué? Porque entendemos que el cuerpo responde a la luz solar produciendo **melanina**, que protege contra daños adicionales por UV. Las personas aceptan el riesgo de **cáncer de piel** a cambio de **vitamina D** y otros beneficios del sol, siempre que la exposición sea razonable.

La radiación ionizante es fundamentalmente similar. A bajas tasas de dosis, el cuerpo **se adapta**, activando mecanismos de reparación para neutralizar el daño. Sin embargo, el modelo LNT insiste en que toda radiación ionizante es peligrosa, alimentando el miedo a exposiciones triviales: un **escáner de TC (~2–10 mSv)**, un **vuelo transcontinental (2,000–15,000 nSv/h)** o vivir cerca de una planta nuclear. Estos temores persisten a pesar de que tales exposiciones son comparables, o incluso menores, que los niveles de fondo naturales en muchas partes del mundo.

# Por qué el modelo LNT debe ser reemplazado

Hay cinco razones clave por las que el modelo LNT debe ser abandonado:

## 1. Falta de evidencia de daño en dosis bajas

Los estudios en áreas de alta radiación de fondo no muestran una relación consistente entre la radiación natural elevada (a menudo decenas de miles de nSv/h) y un aumento en las tasas de cáncer. Estos hallazgos contradicen directamente las predicciones del LNT.

## 2. La adaptación biológica es ignorada

El modelo LNT trata al cuerpo como pasivo. En realidad, la radiación de baja dosis activa la reparación del ADN, las defensas antioxidantes y los procesos de limpieza celular, respuestas protectoras que el modelo pasa por alto por completo.

## 3. El miedo a la radiación es desproporcionado

El modelo exagera la ansiedad pública sobre exposiciones inofensivas o beneficiosas, lo que lleva a las personas a rechazar imágenes médicas o a entrar en pánico por emisiones mínimas de plantas nucleares, respuestas irracionales basadas en desinformación.

## 4. El exceso regulatorio es costoso

Las políticas basadas en el LNT requieren blindaje excesivo, límites de exposición extremadamente bajos y estándares de limpieza costosos. Tras el accidente de Fukushima, miles de personas fueron evacuadas de áreas donde la tasa de dosis era inferior a **10,000 nSv/h**, lo que resultó en muertes relacionadas con el estrés, no con enfermedades por radiación. El equilibrio entre costos y beneficios de estas regulaciones es profundamente defectuoso.

## 5. Existen mejores alternativas

Un **modelo de umbral**, que asume que no hay daño por debajo de una cierta dosis (por ejemplo, 100 mSv), o un **modelo de hormesis**, que reconoce los posibles beneficios de la exposición a dosis bajas, reflejaría mejor las realidades biológicas y la evidencia científica.

# Un enfoque racional hacia la radiación

Reemplazar el modelo LNT no significa minimizar los peligros reales de la radiación de alta dosis. Las dosis superiores a **1,000 mSv** son incuestionablemente dañinas y deben controlarse estrictamente. Pero adoptar un modelo más preciso permitiría:

- **Uso médico más inteligente:** Los pacientes y los médicos podrían usar imágenes de baja dosis o terapias de radiación con confianza sin temor infundado.
- **Regulación equilibrada:** Las políticas podrían priorizar las exposiciones verdaderamente peligrosas, reduciendo la carga económica en el sector de la salud y la industria nuclear.

- **Comprensión pública:** Reconocer la radiación como una parte natural de nuestro entorno, como la luz solar, reduciría el miedo irracional y permitiría la toma de decisiones informadas.

## Respuesta a los críticos

Algunos argumentan que el modelo LNT es el más seguro porque los efectos de las dosis bajas son difíciles de medir. Citan estudios de trabajadores nucleares con riesgos de cáncer ligeramente elevados alrededor de **50 mSv**, pero estos estudios a menudo sufren de variables confusas, como el tabaquismo, el trabajo por turnos o el estrés, que son difíciles de aislar. Mientras tanto, los datos a gran escala de regiones con alta radiación y estudios de laboratorio bien controlados apuntan a **bajo o ningún riesgo**, y a menudo a **efectos positivos** de la radiación de baja dosis.

Mantener el modelo LNT por costumbre o precaución no es prudencia científica, es **inercia regulatoria**. Alimenta el miedo, desalienta la innovación y desvía recursos de riesgos de salud más urgentes.

## Conclusión

El modelo lineal sin umbral simplifica excesivamente la biología de la radiación y promueve un miedo injustificado. La evidencia de regiones con alta radiación, la biología experimental y el uso terapéutico histórico muestran claramente que **la radiación de baja dosis no es intrínsecamente peligrosa**, y puede incluso ser beneficiosa. Como la luz solar, la radiación ionizante tiene tanto riesgos como beneficios, y nuestras políticas deberían reflejar esa sutileza.

Al abandonar el modelo LNT en favor de un **modelo de umbral o de hormesis**, podemos crear un marco más racional para el uso de la radiación en la medicina, la industria y la energía. Esto conduciría a **regulaciones más efectivas, costos más bajos** y una **población mejor informada**. La radiación no es el enemigo, es una fuerza natural que podemos entender, adaptarnos a ella y usarla sabiamente.