MULTICHANNEL

1 CALIBRACIÓN

Magnitud medible: $NOD = -\log_{10}\left(\frac{I_{exp}}{I_{unexp}}\right)$
(net optical density)

Función de ajuste: $D_{cal} = b_k \cdot NOD_k + c_k \cdot NOD_k^{n_k}$ $\quad k \equiv$ canal

- Primero se determina n_k, se toma con dos decimales y luego se calculan b_k y c_k con sus respectivas incertidumbres.
- Usamos solo dos parámetros para no aumentar la incertidumbre de los mismos.
- El fit se realiza con pesos: $\omega_{ki} = \frac{1}{\sigma^2_{NOD_{ki}}} \cdot \frac{1}{\sum_i \left(\frac{1}{\sigma_{NOD_{ki}}}\right)^2}$
- La desviación estándar (parámetros) se calcula con el intervalo de confianza

$\sigma = \frac{\Delta}{2 \cdot z^*}$; cuando el intervalo de confianza es del 95% $\rightarrow z^* = 1{,}96$

2 DENSIDAD ÓPTICA NETA (NOD)

Escaneo: 48 bit color RGB (16 × 3)

Densidad óptica (OD): $OD = \log_{10}\left(\frac{I_{max}}{I}\right)$

$I_{máx} = 2^{16} - 1 = 65535$
(el cero)

NOD de un píxel (m) para cada canal (k) irradiado a una dosis D:

$$NOD_{km}(D) = \log_{10}\left(\frac{\overline{I}_k(D=0)}{I_{km}(D)}\right)$$

$\rightarrow$ Media en un área de píxeles sin irradiar.

NOD a partir de la OD de un píxel (m) para cada canal (k)

$$NOD_{km}(D) = OD_{km}(D) - OD_{0k} \quad \text{donde} \quad OD_{0k} = \log_{10}\left(\frac{I_{max}}{\overline{I}_k(D=0)}\right)$$

MULTICHANNEL

Modelo basado en la ley de Beer-Lambert para la OD:

$$OD_{km}(D) = \underbrace{A_k(D)\cdot\tau_{am}}_{\text{respuesta irradiación}} + \underbrace{B_k\cdot\tau_{bm}}_{\substack{\text{respuesta a } D=0\\ \text{(siempre presente)}}}$$

τ_{am}, τ_{bm} → parámetros inhomogeneidad del pixel

$A_k(D=0)=0$

→ $NOD_{km}(D) = A_k(D)\cdot\tau_{am} + B_k\cdot\tau_{bm} - OD_{0k}$

Se aplica el modelo al caso de una zona irradiada de forma homogénea con una dosis D. Se calcula la media en píxeles:

$$\overline{NOD}_k(D) = A_k(D)\,\overline{\tau}_a + B_k\cdot\overline{\tau}_b - OD_{0k}$$

Para el caso $D=0 \Rightarrow \overline{NOD}_k(D=0)=0$ (además $A_k(D=0)=0$). Así

$$\left.\begin{array}{l} B_k\cdot\overline{\tau}_b = OD_{0k} \\ \overline{NOD}_k(D) = A_k(D)\,\overline{\tau}_a \end{array}\right\}$$

Relación coefs absorbancia ($A_k(D)$ y B_k) con magnitudes.

Sustituyendo estas relaciones en el modelo para un píxel:

$$NOD_{km}(D) = \overline{NOD}_k(D)\cdot\frac{\tau_{am}}{\overline{\tau}_a} + OD_{0k}\left(\frac{\tau_{bm}}{\overline{\tau}_b} - 1\right)$$

La desviación respecto a la media $\Delta NOD_{km}(D) \equiv NOD_{km}(D) - \overline{NOD}_k(D)$

$$\Delta NOD_{km}(D) = \overline{NOD}_k(D)\cdot\left(\frac{\tau_{am}}{\overline{\tau}_a} - 1\right) + OD_{0k}\left(\frac{\tau_{bm}}{\overline{\tau}_b} - 1\right)$$

$$\boxed{\Delta NOD_{km}(D) = \overline{NOD}_k(D)\,\alpha_m + OD_{0k}\cdot\beta_m}$$

El modelo para un pixel "m" irradiado con una dosis desconocida "Dm"

$$\boxed{\boxed{\Delta NOD_{km}(D) = \overline{NOD}_{km}(D)\,\alpha_m + OD_{0k}\,\beta_m}}$$

$\overline{NOD}_{km}$ → NOD del pixel corregida (eliminando el efecto de las inhomogeneidades)

MULTICHANNEL

3 DOSIS DE UN PIXEL

Dato: NOD_{km} $\xrightarrow{\text{calibration}}$ $D_{km} \equiv b_k \cdot NOD_{km} + C_k \cdot NOD_{km}^{n_k}$ $(+\sigma_{km})$

Desarrollo en serie centrado en la NOD corregida ($\overline{NOD_{km}}$) en 1er orden:

$$\mu_{km} = D_{km}(\overline{NOD_{km}}) + \left.\frac{\partial D_{km}}{\partial NOD_{km}}\right|_{\overline{NOD_{km}}} \cdot \Delta NOD_{km}$$

$$\boxed{\mu_{km} = \overline{D_{km}} + \frac{\partial \overline{D_{km}}}{\partial \overline{NOD_{km}}} \cdot \Delta NOD_{km}}$$

siendo $\overline{D_{km}} \equiv b_k \cdot \overline{NOD_{km}} + C_k \cdot \overline{NOD_{km}}^{n_k}$ la dosis corregida

Aplicando el modelo de la NOD: $\Delta NOD_{km} = \overline{NOD_{km}} \cdot \alpha_m + OD_{0k}\, \beta_m$

hay un total de cinco variables por pixel ($\alpha_m, \beta_m, \overline{NOD_{km}}$ $(k = R, G, B)$)

4 MULTICANAL APLICADO A UN PIXEL CON DOSIS CONOCIDA

NOTA A partir de ahora nos referimos a un pixel dado, por lo que eliminamos de la notación el subíndice "m".

Aplicamos MLE (maximum likelihood estimation), por lo que hay que minimizar la función:

$$f = \frac{1}{2} \sum_k \frac{(\mu_k - D_k)^2}{\sigma_k^2}$$

modelo (μ_k), Datos (D_k)

Dosis conocida "D" → $\overline{D_k} = D \quad \forall k$

A partir de la curva de calibración se calcula $\overline{NOD_k}(D)$.

Solo dos variables "α" y "β"

Minimización: (sistema de ecuaciones)

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \alpha} = 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial \beta} = \sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \beta} = 0$$

$$\frac{\partial \mu_k}{\partial \alpha} = \left.\frac{\partial \overline{D_k}}{\partial \overline{NOD_k}}\right|_{\overline{NOD_k}(D)} \cdot \overbrace{\frac{\partial \Delta NOD_k}{\partial \alpha}}^{\overline{NOD_k}}$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial \beta} = \left.\frac{\partial \overline{D_k}}{\partial \overline{NOD_k}}\right|_{\overline{NOD_k}(D)} \cdot \underbrace{\frac{\partial \Delta NOD_k}{\partial \beta}}_{OD_{0k}}$$

MULTICHANNEL

Se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$G_{\alpha}^{*}\cdot\alpha + G_{\alpha\beta}\,\beta = G_{I\alpha}^{*}$$
$$G_{\alpha\beta}\,\alpha + G_{\beta}^{*}\cdot\beta = G_{I\beta}^{*}$$

donde

$$G_{\alpha}^{*} = \sum_{k}\left(\frac{\partial\overline{D}_k}{\partial\overline{NOD}_k}\right)^2\cdot\frac{\overline{NOD}_k^{\,2}}{\sigma_k^2}$$

$$G_{\beta}^{*} = \sum_{k}\left(\frac{\partial\overline{D}_k}{\partial\overline{NOD}_k}\right)^2\cdot\frac{OD_{bk}^{2}}{\sigma_k^2}$$

$$G_{\alpha\beta} = \sum_{k}\left(\frac{\partial\overline{D}_k}{\partial\overline{NOD}_k}\right)^2\frac{\overline{NOD}_k\cdot OD_{bk}}{\sigma_k^2}$$

$$G_{I\alpha}^{*} = \sum_{k}\left(\frac{\partial\overline{D}_k}{\partial\overline{NOD}_k}\right)\frac{\overline{NOD}_k\,(D_k-D)}{\sigma_k^2}$$

$$G_{I\beta}^{*} = \sum_{k}\left(\frac{\partial\overline{D}_k}{\partial\overline{NOD}_k}\right)\frac{OD_{bk}\,(D_k-D)}{\sigma_k^2}$$

La solución a este sistema es:

$$\boxed{\alpha = \frac{G_{I\alpha}^{*}\cdot G_{\beta}^{*} - G_{I\beta}^{*}\,G_{\alpha\beta}}{G_{\alpha}\cdot G_{\beta} - G_{\alpha\beta}^{2}} \qquad \beta = \frac{G_{I\alpha}\,G_{\alpha\beta} - G_{I\beta}\,G_{\alpha}}{G_{\alpha\beta}^{2} - G_{\alpha}\cdot G_{\beta}}}$$

Aplicando esto a las áreas usadas para calibración podemos obtener la media y la desviación estándar para ambos parámetros y usarlo como información a priori.

$$f_{\alpha\,priori} = \frac{1}{2}\,\frac{(\alpha-\bar{\alpha})^2}{\sigma_\alpha^2} = \frac{1}{2}\lambda_\alpha(\alpha-\bar{\alpha})^2$$

$$f_{\beta\,priori} = \frac{1}{2}\lambda_\beta(\alpha-\bar{\alpha})^2$$

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{M}\cdot\sum_{m}^{M}\alpha_m$$

$$\bar{\beta} = \frac{1}{M}\cdot\sum_{m}^{M}\beta_m$$

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{\sum_{m}^{M}(\alpha_m-\bar{\alpha})^2}{M-1}\ ;\ \lambda_\alpha = \frac{1}{\sigma_\alpha^2}$$

$$\sigma_\beta^2 = \frac{\sum_{m}^{M}(\beta_m-\bar{\beta})^2}{M-1}\ ;\ \lambda_\beta = \frac{1}{\sigma_\beta^2}$$

MULTICHANNEL

5 DOSIMETRÍA MULTICANAL (DE UN PÍXEL)

HAP (maximum a posteriori) → Minimización de la función

$$f = \underbrace{\frac{1}{2}\sum_k \frac{(\mu_k - D_k)^2}{\sigma_k^2}}_{\text{likelihood}} + \underbrace{\frac{1}{2}\lambda_\alpha(\alpha-\bar{\alpha})^2 + \frac{1}{2}\lambda_\beta(\beta-\bar{\beta})^2}_{\text{priori}}$$

$$+ \underbrace{Z_{RG}(\bar{D}_R - \bar{D}_G) + Z_{RB}(\bar{D}_R - \bar{D}_B)}_{Z_{RG},\, Z_{RB}\text{: Lagrange multipliers}}$$

La curva de calibración no es invertible, por lo que el problema no se puede expresar en función de la dosis directamente. Hay que calcular la NOD corregida de los tres canales pero asegurando que la dosis corregida de los tres canales sean iguales (un único valor de dosis final)

Buscamos el mínimo de la función:

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2}\cdot\frac{\partial \mu_k}{\partial \alpha} = 0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \beta} = \sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2}\cdot\frac{\partial \mu_k}{\partial \beta} = 0 \qquad (2)$$

$$\frac{\partial f}{\partial NOD_R} = \frac{\mu_R - D_R}{\sigma_R^2}\cdot\frac{\partial \mu_R}{\partial NOD_R} + (Z_{RG}+Z_{RB})\frac{\partial \bar{D}_R}{\partial NOD_R} = 0 \qquad (A.1)$$

$$\frac{\partial f}{\partial NOD_G} = \frac{\mu_G - D_G}{\sigma_G^2}\cdot\frac{\partial \mu_G}{\partial NOD_G} - Z_{RG}\cdot\frac{\partial \bar{D}_G}{\partial NOD_G} = 0 \qquad (A.2)$$

$$\frac{\partial f}{\partial NOD_B} = \frac{\mu_B - D_B}{\sigma_B^2}\cdot\frac{\partial \mu_B}{\partial NOD_B} - Z_{RB}\cdot\frac{\partial \bar{D}_B}{\partial NOD_B} = 0 \qquad (A.3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial Z_{RG}} = \bar{D}_R - \bar{D}_G = 0 \qquad (B)$$

$$\frac{\partial f}{\partial Z_{RB}} = \bar{D}_R - \bar{D}_B = 0 \qquad (C)$$

MULTICHANNEL

De las ecuaciones (A.2) y (A.3) se despejan los multiplicadores de Lagrange

$$z_{RG} = \frac{1}{\partial\overline{D}_G / \partial\overline{NOD}_G} \cdot \frac{\mu_G - D_G}{\sigma_G^2} \cdot \frac{\partial \mu_G}{\partial \overline{NOD}_G}$$

$$z_{RB} = \frac{1}{\partial\overline{D}_B / \partial\overline{NOD}_B} \cdot \frac{\mu_B - D_B}{\sigma_B^2} \cdot \frac{\partial \mu_B}{\partial \overline{NOD}_B}$$

y se sustituye a la ecuación (A.1) que renombramos como (A):

$$\sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \alpha} = 0 \qquad (1)$$

$$\sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \beta} = 0 \qquad (2)$$

$$\sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} \Big/ \frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k} = 0 \qquad (A)$$

$$\overline{D}_R - \overline{D}_G = 0 \qquad (B)$$

$$\overline{D}_R - \overline{D}_B = 0 \qquad (C)$$

Con las ecuaciones (1) y (2) se puede despejar "α" y "β" en función de "$\overline{NOD}_k$" ($k = R, G, B$) análogo a lo que se hizo en la sección $\boxed{4}$

$$\alpha = \frac{G_{I\alpha} G_\beta - G_{I\beta} G_{\alpha\beta}}{G_\alpha G_\beta - G_{\alpha\beta}^2} \qquad\qquad \beta = \frac{G_{I\alpha} \cdot G_{\alpha\beta} - G_{I\beta} G_\alpha}{G_{\alpha\beta} - G_\alpha G_\beta}$$

donde

$$G_\alpha = \sum_k \left(\frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k}\right)^2 \cdot \frac{\overline{NOD}_k^2}{\sigma_k^2} + \lambda_\alpha$$

$$G_\beta = \sum_k \left(\frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k}\right)^2 \cdot \frac{ODO_k^2}{\sigma_k^2} + \lambda_\beta$$

$$G_{\alpha\beta} = \sum_k \left(\frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k}\right)^2 \cdot \frac{\overline{NOD}_k \cdot ODO_k}{\sigma_k^2}$$

$$G_{I\alpha} = \sum_k \left(\frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k}\right) \cdot \frac{\overline{NOD}_k (D_k - \overline{D}_k)}{\sigma_k^2} + \lambda_\alpha \overline{\alpha}$$

$$G_{I\beta} = \sum_k \left(\frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k}\right) \cdot \frac{ODO_k (D_k - \overline{D}_k)}{\sigma_k^2} + \lambda_\beta \cdot \overline{\beta}$$

MULTICHANNEL

VII

Solo queda resolver el sistema de tres ecuaciones (A, B, C) con tres incógnitas ($\overline{NOD}_R, \overline{NOD}_G, \overline{NOD}_B$)

$$\sum_k \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} \Big/ \frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k} = 0 \qquad (A)$$

$$\overline{D}_R - \overline{D}_G = 0 \qquad (B)$$

$$\overline{D}_R - \overline{D}_B = 0 \qquad (C)$$

donde recordamos

$$\left.\begin{aligned} \overline{D}_k &= b_k \cdot \overline{NOD}_k + C_k \cdot \overline{NOD}_k^{\,n_k} \\ \mu_k &= \overline{D}_k + \frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k} \cdot \Delta NOD_k \\ \frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} &= \frac{\partial \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k}(\alpha + 1) + \frac{\partial^2 \overline{D}_k}{\partial \overline{NOD}_k^2} \cdot \Delta NOD_k \\ \Delta NOD_k &= \overline{NOD}_k \cdot \alpha + OD_{0k} \cdot \beta \end{aligned}\right\} \quad (*)$$

El sistema (A, B, C) es no lineal por lo que usaremos el método de Newton-Raphson para resolverlo. Para ello hay que calcular el jacobiano, es decir, necesitamos derivar respecto a cada una de las variables las funciones (A, B, C). Hay que tener en cuenta que en el paso anterior hemos despejado "α" y "β" en función de $\overline{NOD}_k$ (k: R, G, B) cuando se hagan las derivadas. Para evitar confusiones en las derivadas, ya que existe una previa $(*)$, denotaremos las derivadas en este paso de la siguiente manera:

$$\partial_k \equiv \frac{\partial}{\partial \overline{NOD}_k}$$

NOTA: MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON (iterativo)

$$\vec{f}_i + J_i \cdot \Delta \vec{f}_i = 0 \quad \Longrightarrow \quad \vec{f}_{i+1} = \vec{f}_i + \Delta \vec{f}_i$$

valor funciones iteración "i"

jacobiano en iteración i

incógnita

MULTICHANNEL

Los elementos de la matriz jacobiana son:

$$J_{Ak} \equiv \frac{\partial f_A}{\partial \overline{NOD}_k} = \frac{1}{\sigma_k^2} \cdot \boxed{\partial_k \mu_k} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} \cdot \frac{1}{\partial_k \bar{D}_k} + \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \boxed{\partial_k \left(\frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} \right)} \cdot \frac{1}{\partial_k \bar{D}_k}$$

$$- \frac{\mu_k - D_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} \cdot \partial_k^2 \cdot \bar{D}_k \cdot \frac{1}{(\partial_k \bar{D}_k)^2}$$

$$J_{BR} \equiv \frac{\partial f_B}{\partial \overline{NOD}_R} = \partial_R \bar{D}_R \quad ; \quad J_{BG} = -\partial_G \bar{D}_G \quad ; \quad J_{BB} = 0$$

$$J_{CR} \equiv \frac{\partial f_C}{\partial \overline{NOD}_R} = \partial_R \bar{D}_R \quad ; \quad J_{CG} = 0 \quad ; \quad J_{CB} = -\partial_G \bar{D}_B$$

$$\partial_k \mu_k = \partial_k \bar{D}_k \left(\boxed{\partial_k \Delta NOD_k} + 1 \right) + \partial_k^2 \bar{D}_k \cdot \Delta NOD_k$$

$$\partial_k \left(\frac{\partial \mu_k}{\partial \overline{NOD}_k} \right) = \partial_k^2 \bar{D}_k \left(\alpha + 1 + \partial \Delta NOD_k \right) + \partial_k \bar{D}_k \cdot \boxed{\partial_k \alpha} + \partial^3 \bar{D}_k \cdot \Delta NOD_k$$

$$\partial_k \Delta NOD_k = \alpha + \overline{NOD}_k \cdot \boxed{\partial_k \alpha} + OD_{0k} \cdot \boxed{\partial_k \beta}$$

$$\partial_k \alpha = \frac{(\partial_k C_{I\alpha}) C_\beta + C_{I\alpha} (\partial_k C_\beta) - (\partial_k C_{I\beta}) \cdot C_{\alpha\beta} - C_{I\beta} \, \partial_k (C_{\alpha\beta})}{C_\alpha C_\beta - C_{\alpha\beta}^2}$$

$$- \frac{C_{I\alpha} \cdot C_\beta - C_{I\beta} C_{\alpha\beta}}{(C_\alpha C_{\alpha\beta} - C_{\alpha\beta}^2)^2} \left[(\partial_k C_\alpha) C_\beta + C_\alpha (\partial_k C_\beta) - 2 C_{\alpha\beta} (\partial_k C_{\alpha\beta}) \right]$$

$$\partial_k \beta = \frac{(\partial_k C_{I\alpha}) C_{\alpha\beta} + C_{I\alpha} (\partial_k C_{\alpha\beta}) - (\partial_k C_{I\beta}) C_\alpha - C_{I\beta} (\partial_k C_\alpha)}{C_{\alpha\beta}^2 - C_\alpha C_\beta}$$

$$- \frac{C_{I\alpha} C_{\alpha\beta} - C_{I\beta} C_\alpha}{(C_{\alpha\beta}^2 - C_\alpha C_\beta)^2} \left[2 C_{\alpha\beta} (\partial_k C_{\alpha\beta}) - (\partial_k C_\alpha) C_\beta - C_\alpha (\partial_k C_\beta) \right]$$

MULTICHANNEL

$$\partial_k C_\alpha = \frac{2\,\partial_k \bar{D}_k\,\overline{NOD}_k}{\sigma_k^3}\left(\overline{NOD}_k\,\partial_k^2 \bar{D}_k + \partial_k \bar{D}_k\right)$$

$$\partial_k C_\beta = 2\,\partial_k \bar{D}_k \cdot \partial_k^2 \bar{D}_k \cdot \frac{OD_{ok}^2}{\sigma_k^2}$$

$$\partial_k C_{\alpha\beta} = \frac{\partial_k \bar{D}_k\, OD_{ok}}{\sigma_k^2}\left(2\,\overline{NOD}_k\,\partial_k^2 \bar{D}_k + \partial_k \bar{D}_k\right)$$

$$\partial_k C_{I\alpha} = \partial_k^2 \bar{D}_k \cdot \frac{\overline{NOD}_k\,(D_k - \bar{D}_k)}{\sigma_k^2} + \partial_k \bar{D}_k \cdot \frac{D_k - \bar{D}_k}{\sigma_k^2} - (\partial_k \bar{D}_k)^2 \cdot \frac{\overline{NOD}_k}{\sigma_k^2}$$

$$\partial_k C_{I\beta} = \partial_k^2 \bar{D}_k \cdot \frac{OD_{ok}\,(D_k - \bar{D}_k)}{\sigma_k^2} - (\partial \bar{D}_k)^2 \cdot \frac{OD_{ok}}{\sigma_k^2}$$

$$\partial_k \bar{D}_k = b_k + n_k\, c_k\, \overline{NOD}_k^{\,n_k-1}$$

$$\partial_k^2 \bar{D}_k = n_k (n_k-1)\, c_k\, \overline{NOD}_k^{\,n_k-2}$$

$$\partial_k^3 \bar{D}_k = n_k (n_k-1)(n_k-2)\, c_k\, \overline{NOD}_k^{\,n_k-3}$$

~~2D ⇒ Preparar funciones para vector~~

1P ⇒ Hacer función para este caso.

$\boxed{\text{Mirar corrección lateralidad. (bibliografía)}}$ *

$$\cancel{\boxed{NOD_{km} \leftarrow \overline{NOD}_{km}}}$$

$$\cancel{NOD_{km} = \overline{NOD}_{km}(\alpha_m+1)+OD_{0k}\beta_m}$$

$$\cancel{\overline{NOD}_{km}}$$

$$\cancel{NOD_{km}(x) = \overline{NOD}_{km}(x)(\alpha_m+1)+OD_{0k}\beta_m}$$

$$\cancel{\overline{NOD}_{km}(x) = \left[\overline{NOD}_{km} + (p_k + q_k \overline{NOD}_{km})(x - x_0)\right](\alpha_m+1)+OD_{0k}\beta_m}$$

$$NOD_{km}(x) = \overline{NOD}_{km}(x)(\alpha_m+1)+OD_{0k}\beta_m$$

$$\Delta NOD_{km}(x) = \overline{NOD}_{km}(x)\,\alpha_m + OD_{0k}\beta_m$$

→ Tiene sentido porque $\overline{NOD}_{km}$ depende de la dosis y la corrección también debería depender de la dosis.

→ Para hacer la calibración tomo los datos del centro que es donde no hay efecto de lateralidad ⇒ Las dosis que calculo están con la NOD de los píxeles del centro // Cuando hago la calibración tengo que asignar un valor de dosis (que conozco) a valores de la NOD. Si elijo el centro, las dosis se corresponden a la NOD del centro porque hay efecto de lateralidad, entonces las dosis salen desviadas respecto al valor que deberían ser.