Cambio de base ordenada

Sea (V,K) un espacio vectorial de dimensión n. Hemos visto que para cualquier base ordenada δ de V, el *mapeo de representación en la base ordenada* δ, $[\cdot]_\delta : V \to K^n$, establece un isomorfismo entre V y K^n. Dicho isomorfismo puede facilitar operaciones en V, permitiéndonos hacer operaciones "análogas" en K^n y luego devolver el resultado a V.

Sean $\alpha = (\vec{a}_1, \vec{a}_2, \ldots, \vec{a}_n)$ y $\beta = (\vec{b}_1, \vec{b}_2, \ldots, \vec{b}_n)$ bases ordenadas de V. Entonces $\forall \vec{v} \in V$, podemos representar a $\vec{v}$ como una n-tupla en K^n mediante los mapeos $[\cdot]_\alpha$ y $[\cdot]_\beta$. En particular, si

$$\vec{v} = \sum_{i=1}^{n} c_i \vec{a}_i = \sum_{i=1}^{n} d_i \vec{b}_i, \text{ entonces } [\vec{v}]_\alpha = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \text{ y } [\vec{v}]_\beta = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}.$$

A pesar de que tanto $[\vec{v}]_\alpha$ como $[\vec{v}]_\beta$ son elementos de K^n, algunas operaciones son más fáciles de hacer cuando representamos a los vectores de V en una base ordenada particular.

Ejemplo:

Sea V un espacio vectorial real con bases ordenadas $\alpha=(\vec{a}_1,\vec{a}_2)$ y $\beta=(\vec{b}_1,\vec{b}_2)$.

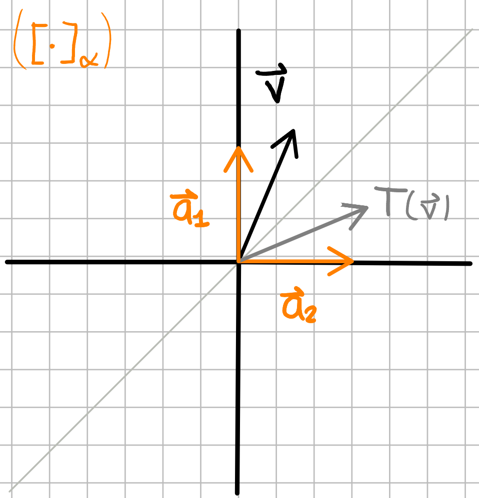
Sea $T:V\to V$ un operador lineal tal que $T(\vec{a}_1)=\vec{a}_2$ y $T(\vec{a}_2)=\vec{a}_1$.

Sea $\vec{v}\in V$ tal que $\vec{v}=1.1\vec{a}_1+0.5\vec{a}_2 \Rightarrow T(\vec{v}) = 1.1\,T(\vec{a}_1)+0.5\,T(\vec{a}_2) = 1.1\vec{a}_2+0.5\vec{a}_1$.

Podemos representar esto geométricamente como sigue:

Sean $\alpha=(\vec{a}_1,\vec{a}_2)$ y $\beta=(\vec{b}_1,\vec{b}_2)$.

$T(\vec{v})=1\vec{b}_1-0.5\vec{b}_2$



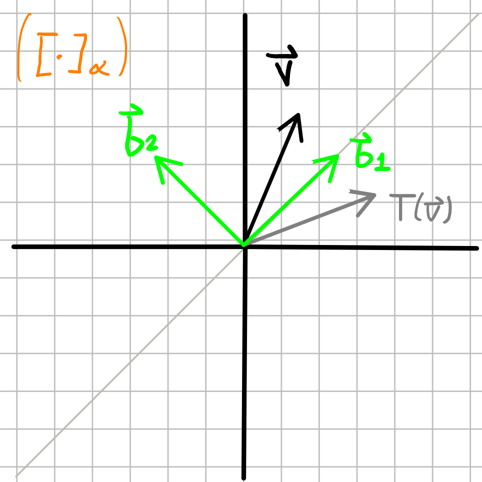
Observemos que

$$[T(\vec{v})]_\alpha=\begin{pmatrix}0.5\\1.1\end{pmatrix} \quad \text{y} \quad [\vec{v}]_\alpha=\begin{pmatrix}1.1\\0.5\end{pmatrix}$$

mientras que

$$[T(\vec{v})]_\beta=\begin{pmatrix}1\\-0.5\end{pmatrix} \quad \text{y} \quad [\vec{v}]_\beta=\begin{pmatrix}1\\0.5\end{pmatrix}.$$

P1



Por lo tanto, el operador lineal $T:V\to V$ que manda $T(\vec{a}_1)=\vec{a}_2$ y $T(\vec{a}_2)=\vec{a}_1$ es tal que.

$$[T]_\alpha=\begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix} \quad \text{y} \quad [T]_\beta=\begin{pmatrix}1&0\\0&-1\end{pmatrix}.$$

Es decir, si representamos a los vectores $\vec{v}\in V$ en α, entonces aplicar T a $\vec{v}$ será análogo a intercambiar las entradas de $[\vec{v}]_\alpha$ para obtener a $[T(\vec{v})]_\alpha$. En cambio, si los representamos en β, aplicar T a $\vec{v}$ es análogo a cambiarle el signo a la segunda entrada de $[\vec{v}]_\beta$ para obtener $[T(\vec{v})]_\beta$.

$$\vec{v} = \sum_{i=1}^{n} c_i \vec{a}_i \leftarrow \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} \in K^n \qquad \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} \in K^n \rightarrow \sum_{i=1}^{n} d_i \vec{b}_i = \vec{v}$$

El cambio $[\vec{v}]_\alpha \to [\vec{v}]_\beta$ entre bases ordenadas de un mismo espacio vectorial se conoce como *cambio de base ordenada* o *cambio de representación*. Observemos que esta operación **no cambia al vector** $\vec{v}$, sino que sólamente cambia su representación como una n-tupla de K^n.

P_2

La matriz que hace esta operación se conoce como *matriz de cambio de base* y es igual a $[I]_\alpha^\beta$ ya que, de esta manera, se tiene que

$$[I]_\alpha^\beta [\vec{v}]_\alpha = [I(\vec{v})]_\beta = [\vec{v}]_\beta \quad \forall \vec{v} \in V,$$

como queríamos. Observemos que

$$[I]_\alpha^\beta = \left[[I(\vec{a}_1)]_\beta \; [I(\vec{a}_2)]_\beta \cdots [I(\vec{a}_n)]_\beta \right] = \left[[\vec{a}_1]_\beta \; [\vec{a}_2]_\beta \cdots [\vec{a}_n]_\beta \right],$$

por lo que, para calcular a $[I]_\alpha^\beta$ hay que encontrar coeficientes $C_{ij} \in K$ tales que

$$\vec{a}_1 = C_{11} \vec{b}_1 + C_{21} \vec{b}_2 + \ldots + C_{n1} \vec{b}_n,$$
$$\vec{a}_2 = C_{12} \vec{b}_1 + C_{22} \vec{b}_2 + \ldots + C_{n2} \vec{b}_n,$$
$$\vdots$$
$$\vec{a}_n = C_{1n} \vec{b}_1 + C_{2n} \vec{b}_2 + \ldots + C_{nn} \vec{b}_n.$$

Luego, $[I]_{\alpha\, ij}^\beta = C_{ij}$.

Ahora, sea $T \in \mathcal{L}(V,V)$. Sabemos que $[\cdot]^\alpha_\alpha =: [\cdot]_\alpha$ y $[\cdot]^\beta_\beta =: [\cdot]_\beta$ establecen **isomorfismos entre** $\mathcal{L}(V,V)$ y $M_{n\times n}(K)$.

¿Cómo cambiamos $[T]_\alpha$ a $[T]_\beta$?

P_3

Para lograrlo, debemos multiplicar a $[T]_\alpha$ por **dos matrices**: una del lado **derecho** que le permita tomar vectores de **entrada** representados en β y cambiarlos a α (para luego poder aplicarles $[T]_\alpha$) y otra del lado **izquierdo** que cambie sus vectores de **salida** de α a β. Por ende,

$$[T]_\beta = [I]^\beta_\alpha [T]_\alpha [I]^\alpha_\beta.$$

Obs: ya que $\left([I]^\beta_\alpha\right)^{-1} = [I^{-1}]^\alpha_\beta = [I]^\alpha_\beta$, entonces $\det([T]_\beta) = \det([T]_\alpha)$ para cualesquiera bases ordenadas α y β de V. (Ejercicio)

Más generalmente, si V y W son espacios vectoriales de dimensión finita n y m, respectivamente, entonces $\forall\, T \in \mathcal{L}(V,W)$, $\forall\, \alpha$ y β bases ordenadas de V, y $\forall\, \gamma$ y δ bases ordenadas de W, se tiene que

$$[T]^\delta_\beta = [I_W]^\delta_\gamma [T]^\gamma_\alpha [I_V]^\alpha_\beta.$$

$$\underbrace{[I_W]^\delta_\gamma \underbrace{[T]^\gamma_\alpha \underbrace{[I_V]^\alpha_\beta [\vec{v}]_\beta}_{[\vec{v}]_\alpha}}_{[T(\vec{v})]_\gamma}}_{[T(\vec{v})]_\delta}$$

$[T]^\delta_\beta [\vec{v}]_\beta = [T(\vec{v})]_\delta$

cambio de bases

$[T]^\gamma_\alpha \to [T]^\delta_\beta$