# Información complementaria

## Análisis por FTIR-ATR de los precursores Cit-$TiO_2$, P-LNMO-T1 y LNMO-T3

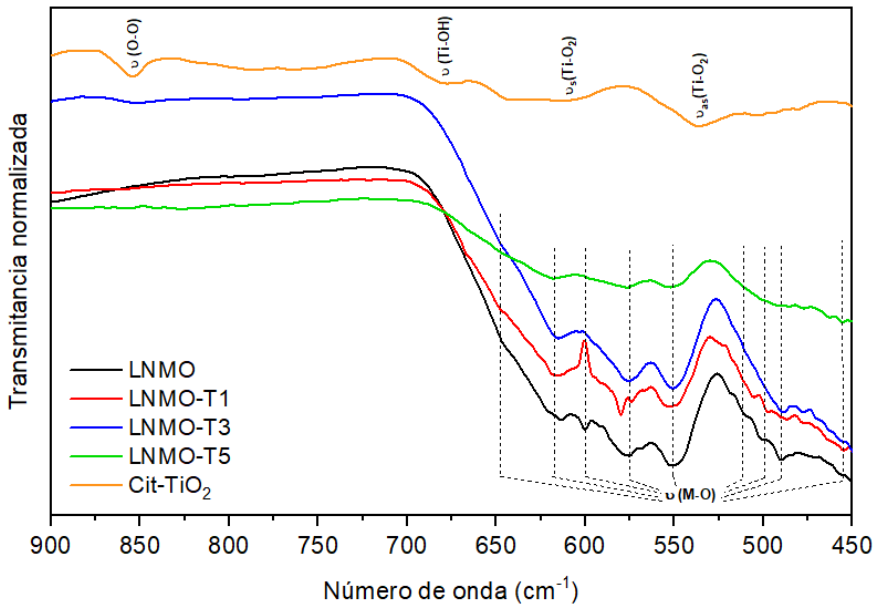



**Fig. S1-** Espectros de FTIR registrados por ATR de los precursores Cit-$TiO_2$, P-LNMO-T1, PLNMO-T3 y P-LNMO-T5 en el intervalo de 450 $cm^{-1}$ a 900 $cm^{-1}$. Se insertó el espectro del óxido de partida LNMO comercial

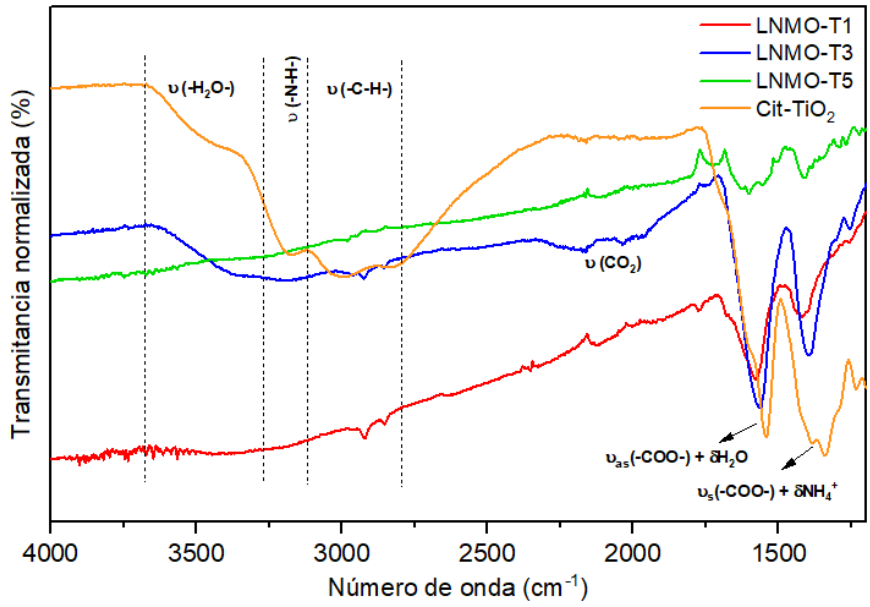



**Fig. S2**- Espectros de FTIR registrados por ATR de los precursores Cit-TiO2, P-LNMO-T1, PLNMO-T3 y P-LNMO-T5 en el intervalo de 1 200 $cm^{-1}$ a 4000 $cm^{-1}$

## Comportamiento térmico de los precursores Cit-$TiO_2$ y P-LNMO-T1 y P-LNMO-T3

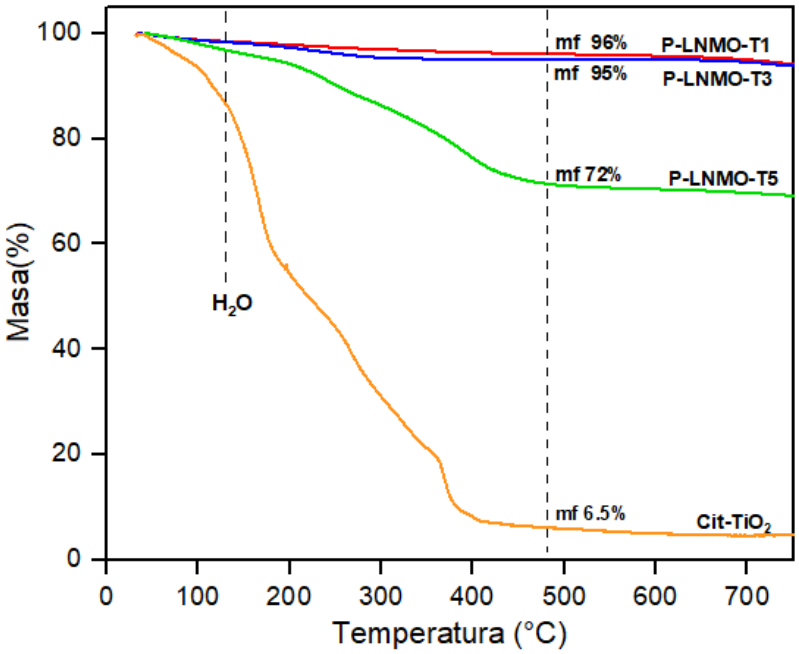



**Fig. S3**- Curvas termogravimétricas de los precursores Cit-$TiO_2$, P-LNMO-T1, P-LNMO-P3 y PLNMO-T5. Las diferencias están centradas en el porcentaje de agua de humedad y de masa final (señalado como mf)

## Análisis por DRX del precursor Cit- $TiO_2$

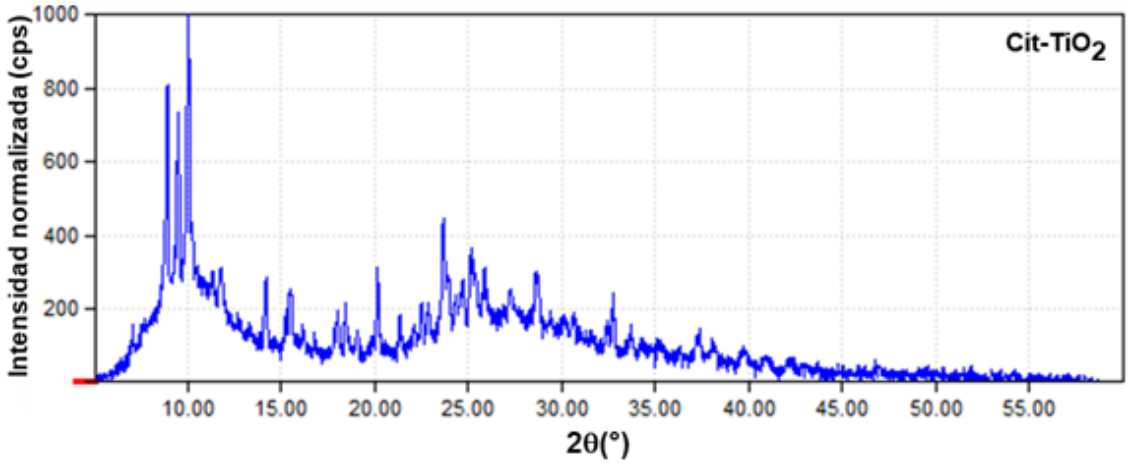



**Fig. S4-** El patrón de DRX del precursor Cit-$TiO_2$ utilizado para recubrir el LNMO. Se comparó con datas de la ICSD-2023, se corresponde con citrato de amonio, específicamente las cartas CC-101190 y CC-132315

## Análisis por DRX de $TiO_2$ obtenido a partir del precursor Cit- $TiO_2$

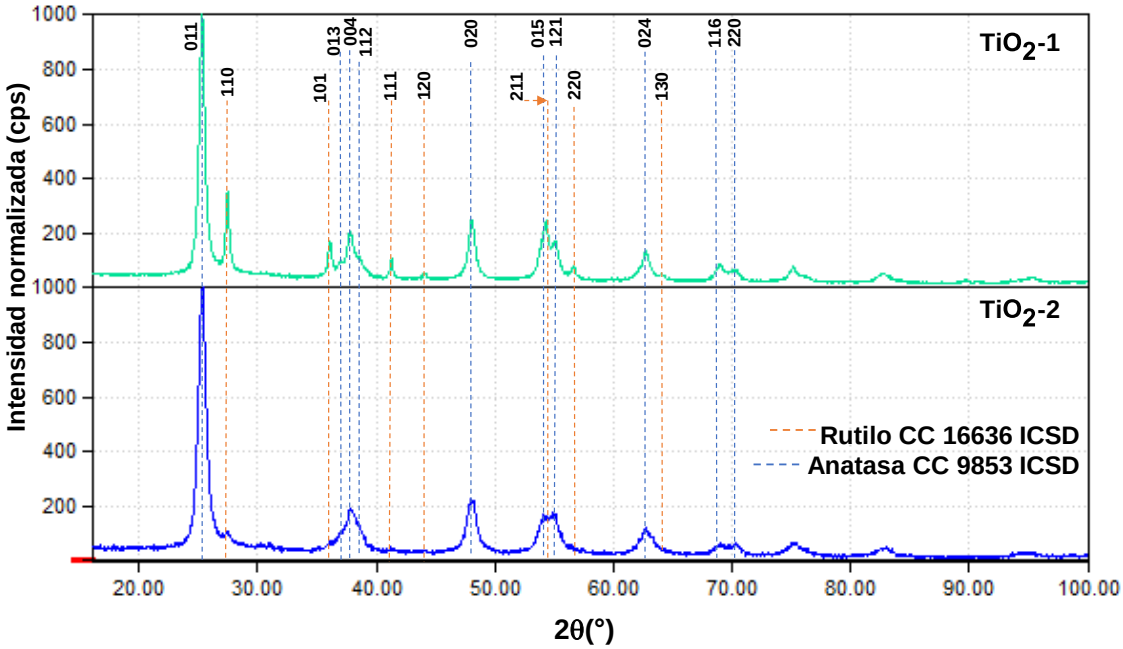



**Fig. S5**- El patrón de DRX del residuo obtenido del tratamiento térmico realizado al precursor Cit-$TiO_2$ a 450 ºC por 6 h ($TiO_2$ -1) y 3 h ($TiO_2$ -2)

## SEM-EDS de LNMO-T1 y LNMO-T3

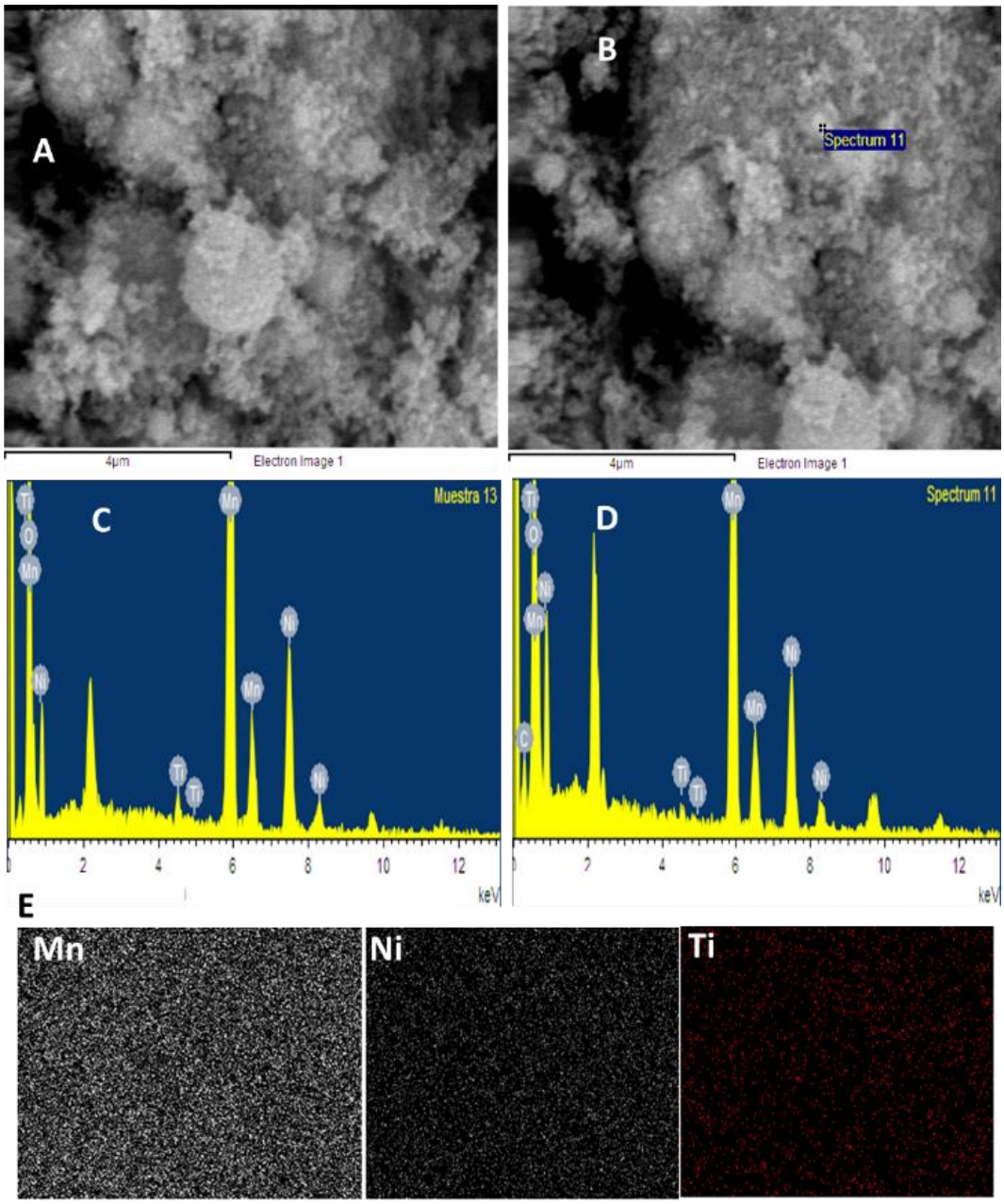



**Fig. S6**- Análisis de homogeneidad composicional del óxido recubierto LNMO-T1 por SEM-EDS. A) Área tomada para el análisis global. B) Área tomada para el análisis puntual. C) Espectro de EDS registrado para el área global. D) Espectro de EDS registrado para el área puntual. E) Mapeo de los elementos Mn, Ni y Ti sobre el área mostrada en B

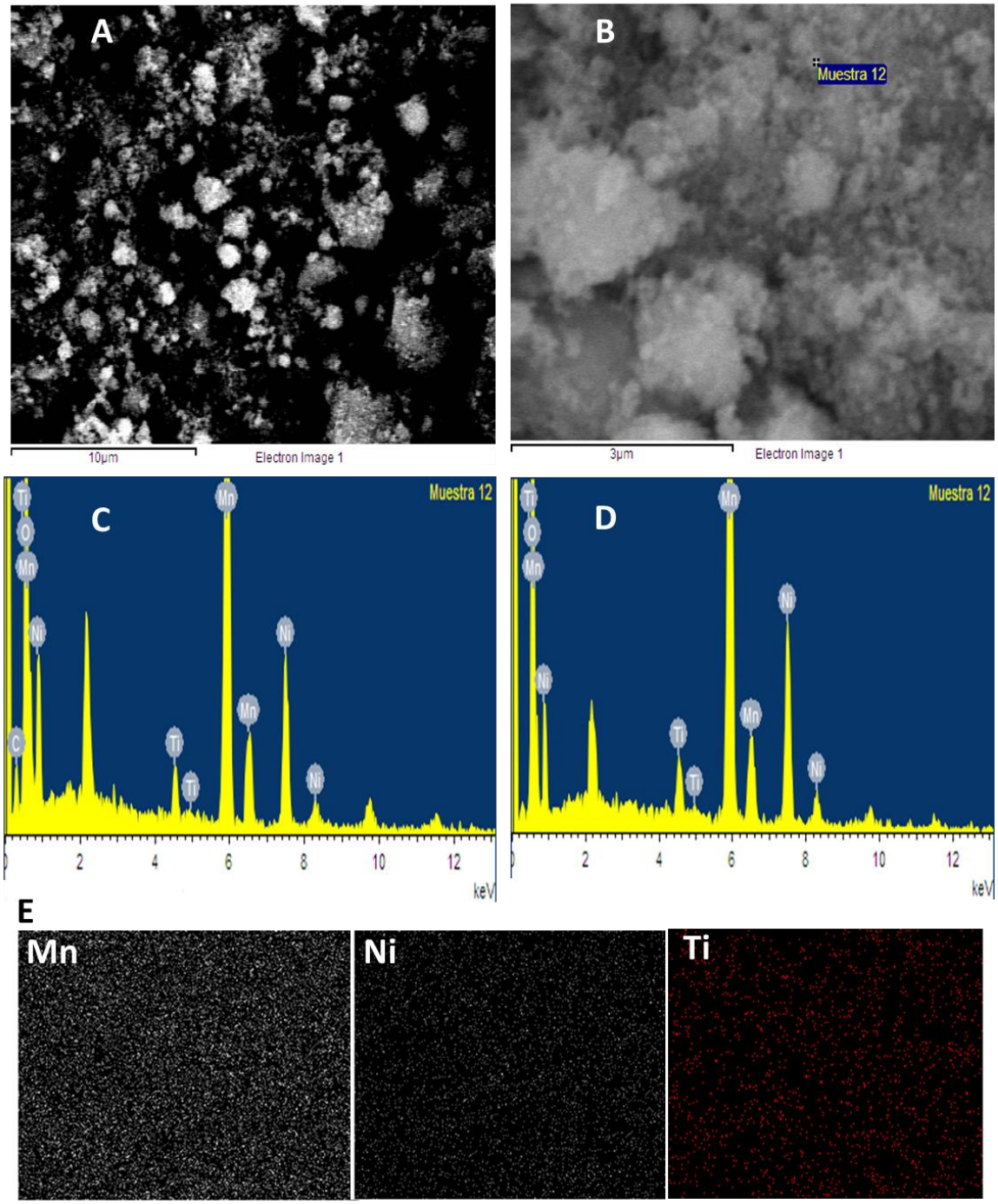
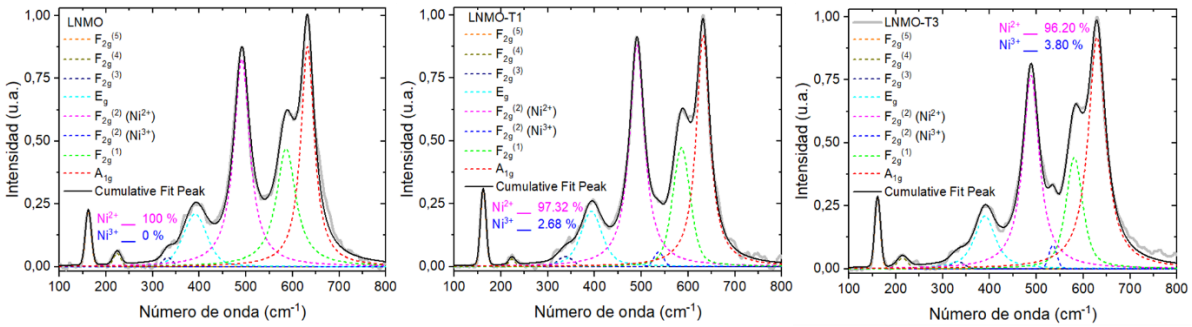



**Fig. S7-** Análisis de homogeneidad composicional del óxido recubierto LNMO-T3 por SEM-EDS. A) Área tomada para el análisis global. B) Área tomada para el análisis puntual. C) Espectro de EDS registrado para el área global. D) Espectro de EDS registrado para el área puntual. E) Mapeo de los elementos Mn, Ni y Ti sobre el área mostrada en B

# Análisis por espectroscopía Raman



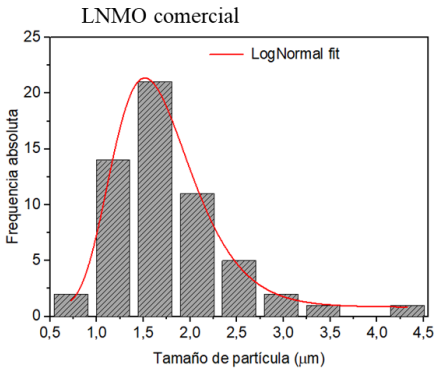

| Model | PsdVoigt1 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plot | Peak1 | Peak2 | Peak3 | Peak4 | Peak5 | Peak6 | Peak7 | Peak8 |
| y0 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 | 0 ± 0.005 |
| xc | 161.9 ± 0.2 | 223.7 ± 0.8 | 332 ± 1 | 390.7 ± 0.5 | 491.0 ± 0.1 | - | 586.0 ± 0.3 | 632.0 ± 0.1 |
| A | 3.5 ± 0.2 | 1.1 ± 0.2 | 1.0 ± 0.7 | 16 ± 2 | 54 ± 2 | 0 | 38 ± 2 | 48 ± 1 |
| w | 15.0 ± 0.4 | 19 ± 2 | 25 ± 4 | 60 ± 2 | 41.3 ± 0.5 | - | 51 ± 1 | 35.0 ± 0.4 |
| mu | 0 ± 0.2 | 0 ± 0.7 | 0 ± 1.5 | 0.4 ± 0.2 | 1.00 ± 0.04 | - | 1.00 ± 0.06 | 1.00 ± 0.02 |
| Reduced Chi-Sqr | 1.80465E-4 | | | | | | | |
| R-Square (COD) | 0.99253 | | | | | | | |
| Adj. R-Square | 0.99245 | | | | | | | |

| Model | PsdVoigt1 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plot | Peak1 | Peak2 | Peak3 | Peak4 | Peak5 | Peak6 | Peak7 | Peak8 |
| y0 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 | 0 ± 0.0002 |
| xc | 161.81 ± 0.09 | 223 ± 1 | 338 ± 2 | 393.0 ± 0.4 | 490.50 ± 0.09 | 536 ± 1 | 585.5 ± 0.2 | 631.8 ± 0.1 |
| A | 4.5 ± 0.1 | 0.5 ± 0.2 | 1.6 ± 0.8 | 15 ± 2 | 53 ± 1 | 1.5 ± 1.0 | 26 ± 3 | 51 ± 2 |
| w | 14.0 ± 0.2 | 16 ± 3 | 38 ± 4 | 54 ± 2 | 38.5 ± 0.4 | 24 ± 3 | 44 ± 1 | 35.1 ± 0.5 |
| mu | 0 ± 0.09 | 0 ± 0.9 | 0 ± 0.9 | 0.6 ± 0.2 | 1.00 ± 0.03 | 0 ± 1.2 | 0.5 ± 0.2 | 1.00 ± 0.01 |
| Reduced Chi-Sqr | 1.12428E-4 | | | | | | | |
| R-Square (COD) | 0.99514 | | | | | | | |
| Adj. R-Square | 0.99509 | | | | | | | |

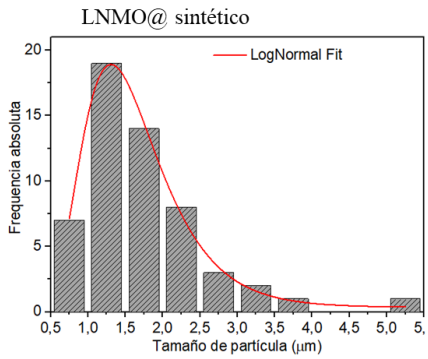
| Model | PsdVoigt1 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plot | Peak1 | Peak2 | Peak3 | Peak4 | Peak5 | Peak6 | Peak7 | Peak8 |
| y0 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 | 0 ± 0.0003 |
| xc | 160.8 ± 0.1 | 214 ± 1 | 332 ± 2 | 390.1 ± 0.4 | 488.4 ± 0.1 | 534.9 ± 0.6 | 580.8 ± 0.3 | 629.1 ± 0.2 |
| A | 4.3 ± 0.2 | 1.2 ± 0.3 | 1.0 ± 0.9 | 16 ± 2 | 51 ± 2 | 2 ± 1 | 26 ± 4 | 65 ± 2 |
| w | 14.4 ± 0.3 | 27 ± 3 | 33 ± 6 | 53 ± 2 | 42.0 ± 0.5 | 20 ± 2 | 43 ± 2 | 45.0 ± 0.6 |
| mu | 0 ± 0.1 | 0 ± 0.8 | 0 ± 1.5 | 0.9 ± 0.2 | 1.00 ± 0.05 | 0 ± 0.9 | 0.7 ± 0.2 | 1.00 ± 0.01 |
| Reduced Chi-Sqr | 1.37079E-4 | | | | | | | |
| R-Square (COD) | 0.99438 | | | | | | | |
| Adj. R-Square | 0.99432 | | | | | | | |

**Fig. S8**- Espectro Raman del LNMO prístino, LNMO-T1 y LNMO-T3

## Estudio estadístico de la morfología del LNMO comercial y LNMO@ sintético

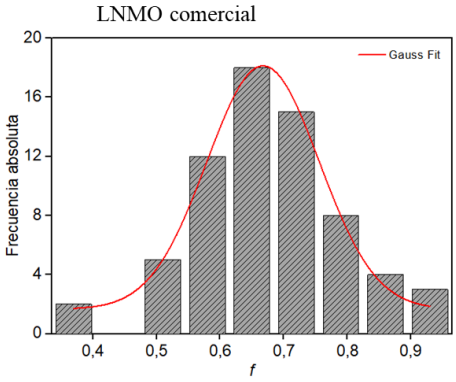



| Model | LogNormal |
|---|---|
| Equation | y = y0 + A/(sqrt(2*pi)*w*x)*exp(-(ln(x/xc))^2/(2*w^2)) |
| Plot | Count |
| y0 | 0,84 ± 0,32 |
| xc | 1,63 ± 0,01 |
| A | 22,23 ± 0,70 |
| Reduced Chi-Sqr | 0,37 |
| R-Square (COD) | 0,99 |
| Adj. R-Square | 0,99 |

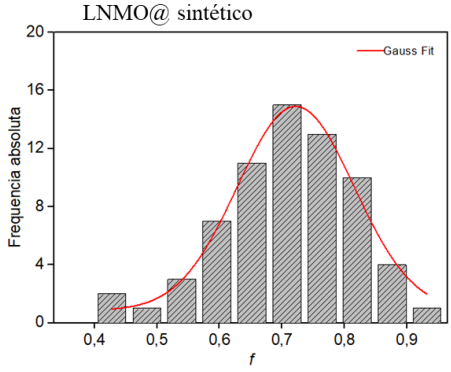



| Model | LogNormal |
|---|---|
| Equation | y = y0 + A/(sqrt(2*pi)*w*x)*exp(-(ln(x/xc))^2/(2*w^2)) |
| Plot | Count |
| y0 | 0,34 ± 0,29 |
| xc | 1,53 ± 0,02 |
| w | 0,39 ± 0,01 |
| A | 25,76 ± 0,75 |
| Reduced Chi-Sqr | 0,29 |
| R-Square (COD) | 0,99 |
| Adj. R-Square | 0,99 |

**Fig. S9-** Histogramas del tamaño de las partículas de LNMO comercial y LNMO@ sintético




| Model | Gauss |
|---|---|
| Equation | y=y0 + (A/(w*sqrt(pi/2)))*exp(-2*((x-xc)/w)^2) |
| Plot | Count |
| y0 | 1,66 ± 0,80 |
| xc | 0,67 ± 0,006 |
| w | 0,17 ± 0,02 |
| A | 3,64 ± 0,43 |
| Reduced Chi-Sqr | 1,49 |
| R-Square (COD) | 0,98 |
| Adj. R-Square | 0,96 |

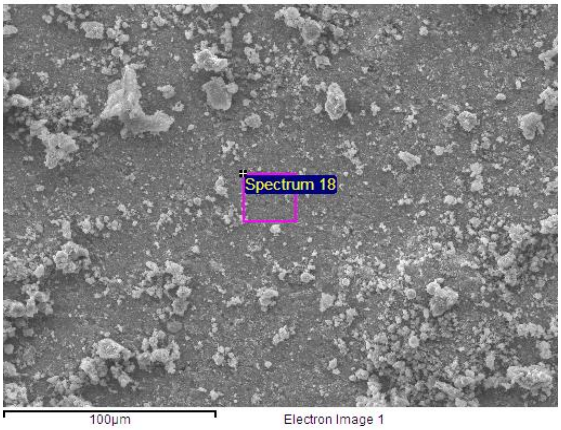



| Model | Gauss |
|---|---|
| Equation | y=y0 + (A/(w*sqrt(pi/2)))*exp(-2*((x-xc)/w)^2) |
| Plot | Count |
| y0 | 0,85 ± 0,66 |
| xc | 0,72 ± 0,005 |
| w | 0,19 ± 0,01 |
| A | 3,29 ± 0,35 |
| Reduced Chi-Sqr | 0,72 |
| R-Square (COD) | 0,98 |
| Adj. R-Square | 0,97 |

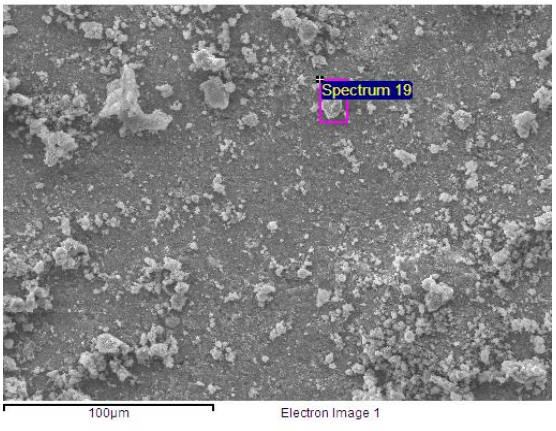
**Fig. S10**- Histogramas del factor de forma (*f*) de las partículas de LNMO comercial y LNMO@ sintético

## SEM-EDS de pastillas confeccionadas con LNMO, LNMO-T1 y LNMO-T3

Superficie de la pastilla LNMO-T1

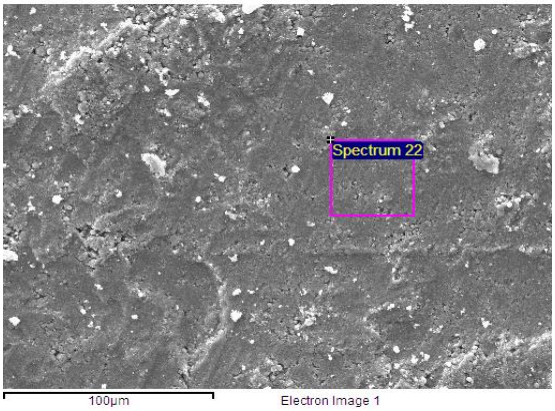



| Element | App Conc. | Intensity Corrn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---|---|---|---|---|---|
| O K | 62.24 | 1.6644 | 29.47 | 0.58 | 59.37 |
| Ti K | 0.30 | 1.0139 | 0.23 | 0.14 | 0.15 |
| Mn K | 59.99 | 0.9458 | 49.98 | 0.61 | 29.32 |
| Ni K | 22.97 | 0.8910 | 20.32 | 0.57 | 11.15 |
| Totals | | | 100.00 | | |

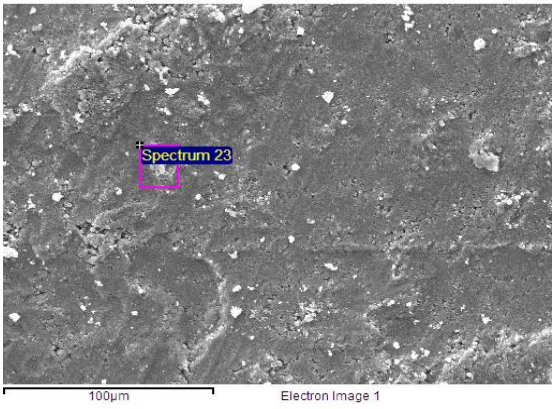



| Element | App Conc. | Intensity Corrn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---|---|---|---|---|---|
| O K | 56.08 | 1.5897 | 27.91 | 0.55 | 57.47 |
| Ti K | 1.23 | 1.0168 | 0.96 | 0.15 | 0.66 |
| Mn K | 61.11 | 0.9470 | 51.07 | 0.58 | 30.62 |
| Ni K | 22.63 | 0.8926 | 20.06 | 0.54 | 11.26 |
| Totals | | | 100.00 | | |

Superficie de la pastilla LNMO-T3




| Element | App Conc. | Intensity Corrn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---|---|---|---|---|---|
| O K | 80.29 | 1.6232 | 33.49 | 0.53 | 63.71 |
| Ti K | 1.67 | 1.0029 | 1.13 | 0.13 | 0.72 |
| Mn K | 65.01 | 0.9341 | 47.12 | 0.52 | 26.11 |
| Ni K | 23.88 | 0.8850 | 18.27 | 0.47 | 9.47 |
| Totals | | | 100.00 | | |




| Element | App Conc. | Intensity Corrn. | Weight% | Weight% Sigma | Atomic% |
|---|---|---|---|---|---|
| O K | 78.00 | 1.6053 | 33.04 | 0.54 | 63.26 |
| Ti K | 1.78 | 1.0015 | 1.21 | 0.13 | 0.77 |
| Mn K | 63.87 | 0.9360 | 46.41 | 0.54 | 25.88 |
| Ni K | 25.22 | 0.8865 | 19.34 | 0.49 | 10.09 |
| Totals | | | 100.00 | | |

**Fig. S11-** Estudio de homogeneidad composicional y morfológica de la superficie de tabletas prensadas de LNMO-T1 y LNMO-T3

## Estudio de $O_2$ con sensor potenciométrico de oxígeno tipo YSZ

La liberación de oxígeno ocurre de forma gradual, desde un punto donde se estableció un valor constante de fem (equilibrio entre los dos puntos trifásicos del sensor potenciométrico utilizado, es decir, entre la atmósfera de referencia y la atmósfera de medición) antes de calentar la muestra (fem 1). Tras la pérdida de oxígeno, se establece un nuevo equilibrio en el punto, donde el porcentaje de oxígeno liberado es máximo (valor mínimo de fem) después de comenzar a calentar la muestra (fem 2). Los porcentajes de oxígeno correspondientes, se determinaron utilizando la ecuación de Nernst, basada en los valores de fem 1 y fem 2 indicados en el gráfico (figura S12). La tabla S1 presenta los valores medidos y calculados en este experimento. El porcentaje de oxígeno detectado por el sistema para la fem 1 se designa como % $O_2$ (1), mientras que el porcentaje correspondiente a la fem 2 se designa como % $O_2$ (2). A partir de la diferencia entre % $O_2$ (1) y % $O_2$ (2), se estimó el porcentaje de oxígeno liberado por el material en el intervalo de temperaturas, donde la emanación de oxígeno es máxima y constante. Esta diferencia, denominada porcentaje de $O_2$ emanado de la muestra en equilibrio, la denota como % $O_2$(m).

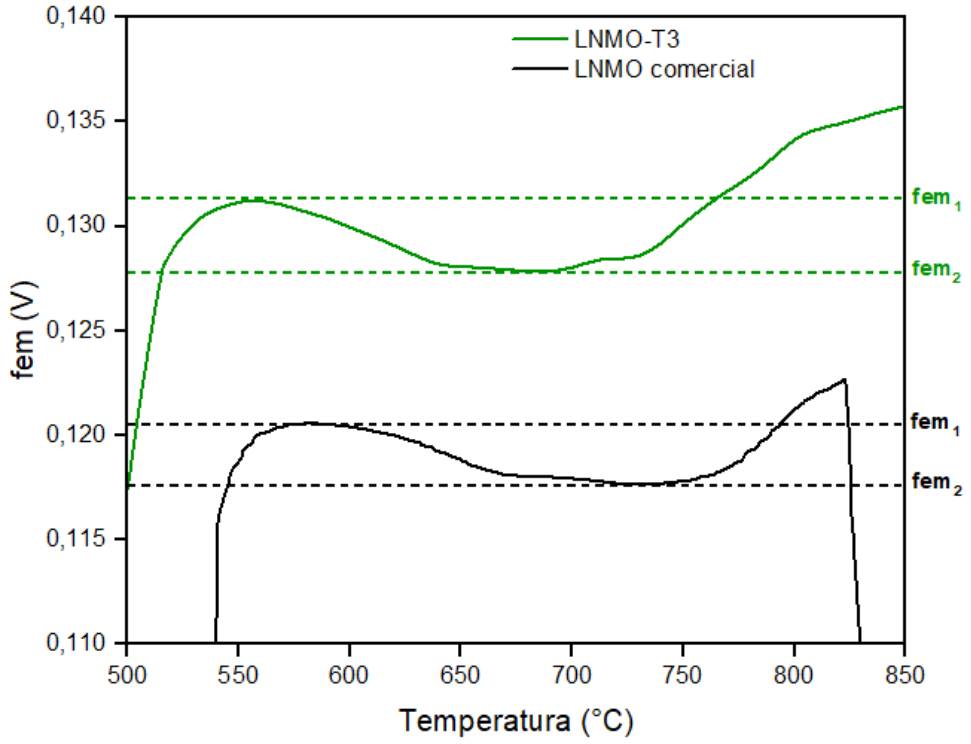



**Fig. S12-** Curvas de fuerza electromotriz (fem) en función de la temperatura, obtenidas al tratar térmicamente el LNMO comercial de partida y LNMO-T3, y monitorear la variación de la presión parcial de $O_2$, mediante un sensor de oxígeno YSZ insertado en un set experimental construido en este trabajo

**Tabla S1-** Valores de fem medidos y % $O_2$ calculados al tratar térmicamente el LNMO comercial de partida y el recubrimiento LNMO-T3, y monitorear la variación de la presión parcial de $O_2$ en el set experimental

| Material | Fem 1 (V) | Fem 2 (V) | % $O_2$(1) | % $O_2$(2) | % $O_2$(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| LNMO comercial | 0,1206 | 0,1170 | 0,10 | 0,12 | 0,02 |
| LNMO-T3 | 0,1313 | 0,1278 | 0,06 | 0,07 | 0,01 |

1.